

Technologie výroby tenkostěnných výrobků

Zbyněk Tesařík

Bakalářská práce
2011



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická
Ústav výrobního inženýrství
akademický rok: 2010/2011

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Zbyněk TESÁŘÍK**
Osobní číslo: **T08230**
Studijní program: **B 3909 Procesní inženýrství**
Studijní obor: **Technologická zařízení**

Téma práce: **Technologie výroby tenkostěnných výrobků**

Zásady pro vypracování:

- 1. Vypracujte rešerši na dané téma**
- 2. Provedte experimentální výrobu vybraných dílců na CNC vystřihovacím lisu a jako alternativu zvolte laserovou technologii**
- 3. Provedte vyhodnocení a srovnání obou technologií**

Rozsah bakalářské práce:

Rozsah příloh:

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

Dle doporučení vedoucí práce

Vedoucí bakalářské práce:

doc. Ing. Libuše Sýkorová, Ph.D.

Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání bakalářské práce:

14. února 2011

Termín odevzdání bakalářské práce:

3. června 2011

Ve Zlíně dne 11. ledna 2011



doc. Ing. Petr Hlaváček, CSc.
děkan



doc. Ing. Miroslav Maňas, CSc.
ředitel ústavu

Příjmení a jméno: Tesařík Zbyněk

Obor: Technologická zařízení

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním diplomové/bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby ¹⁾;
- beru na vědomí, že diplomová/bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k nahlédnutí, že jeden výtisk diplomové/bakalářské práce bude uložen na příslušném ústavu Fakulty technologické UTB ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji diplomovou/bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3 ²⁾;
- beru na vědomí, že podle § 60 ³⁾ odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60 ³⁾ odst. 2 a 3 mohu užít své dílo – diplomovou/bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování diplomové/bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové/bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem diplomové/bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považuji se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Ve Zlíně 17.5.2011



.....

¹⁾ zákon č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, § 47 Zveřejňování závěrečných prací:

(1) Vysoká škola nevdělečně zveřejňuje disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce, u kterých proběhla obhajoba, včetně posudků oponentů a výsledku obhajoby prostřednictvím databáze kvalifikačních prací, kterou spravuje. Způsob zveřejnění stanoví vnitřní předpis vysoké školy.

(2) Disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce odevzdané uchazečem k obhajobě musí být též nejméně pět pracovních dnů před konáním obhajoby zveřejněny k nahlížení veřejnosti v místě určeném vnitřním předpisem vysoké školy nebo není-li tak určeno, v místě pracoviště vysoké školy, kde se má konat obhajoba práce. Každý si může ze zveřejněné práce pořizovat na své náklady výpisy, opisy nebo rozmnoženiny.

(3) Platí, že odevzdáním práce autor souhlasí se zveřejněním své práce podle tohoto zákona, bez ohledu na výsledek obhajoby.

²⁾ zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 35 odst. 3;

(3) Do práva autorského také nezasahuje škola nebo školské či vzdělávací zařízení, užije-li nikoli za účelem přímého nebo nepřímého hospodářského nebo obchodního prospěchu k výuce nebo s vlastní potřebou dílo vytvořené žákem nebo studentem ke splnění školních nebo studijních povinností vyplývajících z jeho právního vztahu ke škole nebo školskému či vzdělávacímu zařízení (školní dílo).

³⁾ zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 60 Školní dílo;

(1) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení mají za obvyklých podmínek právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla (§ 35 odst. 3). Odpírá-li autor takového díla udělit svolení bez vážného důvodu, mohou se tyto osoby domáhat nahrazení chybějícího projevu jeho vůle u soudu. Ustanovení § 35 odst. 3 zůstává nedotčeno.

(2) Není-li sjednáno jinak, může autor školního díla své dílo užit či poskytnout jinému licenci, není-li to v rozporu s oprávněnými zájmy školy nebo školského či vzdělávacího zařízení.

(3) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení jsou oprávněny požadovat, aby jim autor školního díla z výdělku jím dosaženého v souvislosti s užitím díla či poskytnutím licence podle odstavce 2 přiměřeně přispěl na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložily, a to podle okolností až do jejich skutečné výše; přitom se přihledne k výši výdělku dosaženého školou nebo školským či vzdělávacím zařízením z užití školního díla podle odstavce 1.

ABSTRAKT

Cílem této práce je zhodnocení technických a ekonomických aspektů výroby tenkostěnných výrobků z plechů na CNC strojích tradiční technologií vystřihováním na vystřihovacím lisu a řezáním laserovým paprskem. Tato práce by měla usnadnit volbu té nejefektivnější technologie pro výrobu konkrétního výrobku.

Klíčová slova: Laser, řezání laserem, vystřihovací lis, střížník, matrice.

ABSTRACT

The aim this work is to evaluate the technical and economic aspects of the production of thinwalled sheet metal products on CNC machines by the traditional technology as a cutting on a lunch press and a laser beam cutting. The work should facilitate the choice of the most effective technology for the production of concrete product.

Keywords: Laser machine, laser cutting, lunch press, punching tool, blanking die. [5]

Poděkování

Úvodem chci poděkovat Tomáši Jurákovi za technické rady a pomoc při zpracování této bakalářské práce. Dále chci poděkovat vedoucímu své bakalářské práce doc. Ing. Libuši Sýkorové za konzultace spojené s touto prací

Prohlašuji, že jsem na bakalářské práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval a že odevzdaná verze bakalářské/diplomové práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

Ve Zlíně 17.5.2011

.....

Podpis

OBSAH

ÚVOD	10
I TEORETICKÁ ČÁST	11
1 LASER	12
1.1 PRINCIP LASERU	12
1.2 ROZDĚLENÍ LASERU.....	13
1.2.1 Podle aktivního prostředí	13
1.2.2 Podle emise záření.....	14
1.2.3 Podle vlnové délky	14
1.2.4 Podle konstrukce zařízení	14
1.2.5 Podle jejich použití.....	16
1.3 LASEROVÉ DĚLENÍ MATERIÁLU.....	18
1.3.1 Teorie dělení laserem	18
1.3.2 Technologie dělení	20
1.3.3 Řezné plyny	21
1.4 KONSTRUKCE LASERU K DĚLENÍ MATERIÁLU	22
2 TECHNOLOGIE VÝROBY NA CNC VYSTŘIHOVACÍM LISU	23
2.1 ZÁKLADNÍ STŘIHACÍ OPERACE.....	24
2.2 STŘIŽNÝ PROCES	26
2.2.1 Střížná síla.....	26
2.2.2 Střížná vůle.....	27
2.3 KONSTRUKCE CNC VYSTŘIHOVACÍHO LISU	29
2.3.1 Dělení CNC vystřihovacích lisů.....	30
2.3.2 Vystřihovací nástroj	31
3 SROVNÁNÍ LASEROVÉHO DĚLENÍ A CNC VYSTŘIHOVÁNÍ	32
3.1.1 Laserové řezání - výhody	32
3.1.2 Laserové řezání – nevýhody	32
3.1.3 CNC vystřihování – výhody.....	33
3.1.4 CNC vystřihování – nevýhody	33
4 CÍLE PRAKTICKÉ ČÁSTI DIPLOMOVÉ PRÁCE	34
II PRAKTICKÁ ČÁST	35
5 PODMÍNKY EXPERIMENTU	36
5.1 TECHNICKÉ PARAMETRY LASEROVÉHO STROJE LC 1212.....	38
5.2 TECHNICKÉ PARAMETRY VYSTŘIHOVACÍHO STROJE EUROPE 245.....	39
5.3 VOLBA MATERIÁLU	39
5.4 POSTUP MĚŘENÍ.....	40
6 EXPERIMENTÁLNÍ MĚŘENÍ	41

6.1	VZOREK B1	41
6.2	VZOREK B2	43
6.3	VZOREK B3	45
6.4	VZOREK B4	47
6.5	VZOREK B5	50
6.6	VZOREK B6	53
6.7	VZOREK B7	56
7	VYHODNOCENÍ NAMĚŘENÝCH DAT	59
	ZÁVĚR	61
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	63
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	64
	SEZNAM OBRÁZKŮ	65
	SEZNAM TABULEK.....	66
	SEZNAM PŘÍLOH.....	68

ÚVOD

Současná doba klade velké nároky na konkurenceschopnost výrobních podniků. Důraz na kvalitu, rychlost a cenu je zásadní a rozhoduje nejen o úspěchu na trhu, ale mnohdy i v konečném důsledku samotné existenci podniku. Technologie výroby je jedním ze zásadních problémů, kterou musí výrobní podnik řešit. Správnou volbou technologie se získává náskok před konkurencí a naopak špatným rozhodnutím se ztrácí pozice na trhu.

V této práci jsou hodnoceny současnosti nejrozšířenější technologie výroby tenkostěnných kovových výrobků v našem regionu, kterými jsou řezání laserem a vystřihování pomocí CNC vystřihovacího lisu.

V teoretické části jsou zmíněné technologie samostatně představeny a v praktické jsou pak porovnávány. K demonstraci výhod a nevýhod poslouží vybrané výrobky, které jsou ve firmě Kovostal s.r.o. Jarošov vyráběny. Tyto jsou tak různorodé, že je možné získané poznatky aplikovat na širokou paletu výrobků jiných výrobních firem.

I. TEORETICKÁ ČÁST

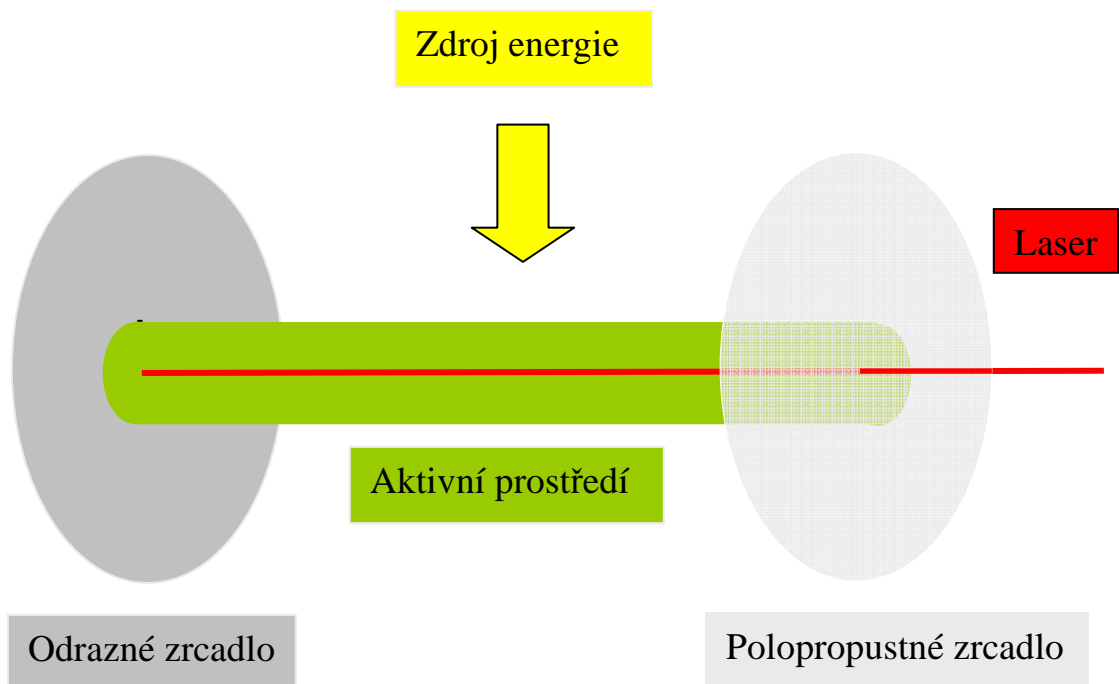
1 LASER

Laser patří v současnosti k nejrozšířenějším nekonvenčním technologiím. V průmyslu jsou většinou využívány pro dělení materiálů a svařování. Lze jej použít pro širokou škálu materiálů s poměrně velkou přesností a kvalitou zpracování.

1.1 Princip laseru

Zjednodušeně řečeno je laser zdroj světla koncentrovaný pomocí optiky do jednoho úzkého svazku.

Základem fungování laseru je zdroj energie svítící do aktivního prostředí. Jde o místo v rezonátoru mezi dvěma zrcadly, z nichž jedno je polopropustné a druhé je plně odrazné. V aktivním prostředí jsou stávající elektrony vybuzeny do vyšší energetické hladiny. Při zpětném návratu na nižší energetickou hladinu jsou uvolňovány fotony, které jsou v rezonátoru zesilovány tak, aby mohl rezonátor opustit paprsek polopropustným zrcadlem.



Obr. 1. Vznik Laseru.

1.2 Rozdělení laseru

1.2.1 Podle aktivního prostředí

- a) **Plynné:** aktivní prostředí je v plynné fázi. Tento typ laserů pracuje v kontinuálním a pulzním režimu.
- Do této kategorie řadíme helium-neonový laser, argonový laser, měděný laser, jódový laser, dusíkový, helium-kadmiový laser, vodíkový laser, laser a CO₂ lasery. Použití v měřicí technice nachází helium-neonový laser.
- Pro řezání materiálů se používají hlavně CO₂ lasery. Excimerové lasery se používají na popisování, čištění povrchů, mikroobrábění keramických materiálů, obrábění diamantu, strojních součástí i uměleckých děl a vrtání děr velmi malých průměru (od 10 μm).
- b) **Polovodičové:** aktivním prostředím je polovodičový materiál. Zásadní výhodou polovodičových laserů je jejich kompaktnost a značná účinnost (až 50 %).
- Polovodičový laser buzený svazkem elektronů a injekční polovodičový laser, kde je buzení obstarává pro změnu elektrické pole jsou hlavními představiteli této kategorie.
- c) **Kapalinové:** aktivním prostředím jsou roztoky organických barviv či upravené kapaliny dopované ionty vzácných zemin. Účinnost je řádově desítky procent. Použití kapalinových laserů je především ve spektroskopii, neboť umožňují především naladění přesné vlnové délky.

1.2.2 Podle emise záření

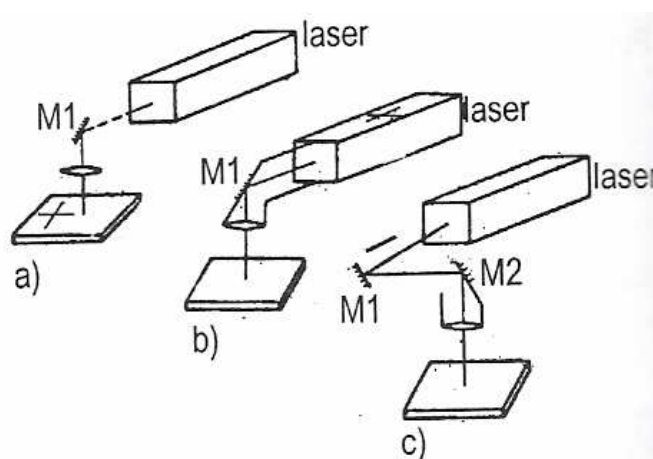
Provoz laseru je možný buď v kontinuálním nebo pulsním režimu. Pulsní provoz umožňuje dosáhnout velké hustoty energie pro zvýšení absorpce záření v materiálech s velkou odrazivostí, snížení objemového ohřevu materiálu v důsledku krátké doby interakce paprsku s materiálem a provedení řady vysokorychlostních operací při schopnosti rychlého zažhání a zhasínání paprsku, výsledná kvalita laserovaného materiálu je ovlivněna řadou technických a technologických parametrů.

1.2.3 Podle vlnové délky

Vlnová délka používaná lasery se pohybuje v intervalu 0,4-10,6 μm . Díky soustředění energie do poměrně malého průměru (0,05-0,25 mm) je hustota energie větší než $10^8 \text{W}\cdot\text{cm}^{-2}$, proto je teplota v místě působení značná a dosahuje hodnoty až $25 \cdot 10^3 \text{ }^\circ\text{C}$.

1.2.4 Podle konstrukce zařízení

Z hlediska konstrukce laserového zařízení má velmi důležitou úlohu přenos laserového paprsku k pracovnímu stolu a také zabezpečení vzájemného relativního pohybu mezi paprskem a dílcem. Budeme vycházet za tří základních konstrukčních typů laserových zařízení, zobrazených na obr.1.2. Přitom výběr typu záleží na velikosti obráběného předmětu, kvalitě a rychlosti paprsku a také na požadované přesnosti.



Obr. 2. Základní typy konstrukčního řešení. [5]

- a) Systém pevného laseru a pohyblivého stolu, na kterém je upnutý obrobek. Omezujícím parametrem používání je tvar, velikost a hmotnost obrobku. [5]
- b) Pohyblivý laserový systém a nepohyblivý obrobek. Při tomto systému se používá malá a lehká laserová hlava s nízkým výkonem a poměrně nízkou řeznou rychlostí. Výhodou systému je minimální omezení tvaru a hmotnosti obrobku. [5]
- c) Systém pohyblivého paprsku, který je zabezpečen zrcadly, když laserové hlava a obrobek jsou stacionární. Tento systém je vysoko flexibilní. Využívá se při požadavku na vysoké řezné rychlosti a úsporu prostoru. Nevýhodou je vysoká citlivost na vibrace a přesnost nastavení, což může způsobovat větší rozdíl paprsku. [5]

V současnosti jsou vyvinuté systémy řízení pohybu paprsku pomocí CNC systémů a také laserová hlava může být součástí chapadla robota, které zabezpečí pohyb paprsku v pěti osách. Tyto systémy se používají přednostně pro řezání a vyřezávání složitých tvarů a při svařování. Nejnověji se přenos laserového paprsku zabezpečuje optickými vlákny. Použití optických kabelů je velmi vhodné při požadavku na rozdělení laserového paprsku a jeho odeslání do více pracovních stanic, které můžou pracovat současně. [5]

1.2.5 Podle jejich použití

Oblasti použití laseru jsou velmi široké a zasahují do nejrůznějších odvětví. Dle použití můžeme lasery rámcově dělit na:

- výzkumné
- měřicí
- lékařské
- technologické
- energetické
- vojenské

Pro nás nejdůležitější jsou lasery technologické, kde se budeme zabývat dělením laserů podle oblastí průmyslového využití pro procesy zpracování materiálu, podle něhož je dělení následující:

- úběr materiálu - do této oblasti spadá řezání, vrtání, mikroobrábění a čištění pomocí laseru, protože při procesech dochází k úběru materiálu. Mikroobrábění zahrnuje technologie jako přistřihování, ořezávání, značkování, gravírování a rytí. Čištění je odstraňování tenké povrchové vrstvy kontaminované např. oleji a plyny. [5]
- spojování a zpevňování - zahrnuje svařování, pájení a povlakování.
- tepelné zpracování povrchu - jako kalení, žíhání, povrchové legování, rekrytalizace, povlakování.
- nové procesy - které byly nedávno vyvinuté na základech požadavku průmyslu jako je tažení optických vláken, barvení, dělení skla a keramiky či laserem podporované.

Tabulka 1. Vybrané typy laserů (základní informace). [5]

Aktivní médium:	Vlnová délka	Barva / spektrální oblast	Příklady použití	Poznámky
Plynové excimerové lasery:				Pulsní, výkon 20W až 250W
ArF	193 nm	UV	oční lékařství, fotolitografie	
KrCl	222 nm	UV	oční lékařství, laserová ablace	
KrF	248 nm	UV	oční lékařství	
XeCl	308 nm	UV	oční lékařství	
XeF	351 nm	UV	oční lékařství	
Ostatní plynové lasery:				
Argonový	488 nm, 514 nm	modrá, zelená	oční lékařství, spektroskopie	Kontinuální nebo pulsní, výkon 1 až 5000W
dusíkový	337 nm	UV		Pulsní
fluorovodíkový	2,7 μm	IR	nedestruktivní testování	Kontinuální, střední výkon 10KW
hélium-neonový	543 nm, 633 nm	zelená, červená	zaměřování polohy	Kontinuální, stř. výkon 0,05W
hélium-kadmiový	325 nm, 442 nm	UV, modrá		Kontinuální, stř. výkon 0,1W
kryptonový	476 nm, 528 nm, 568 nm, 647 nm	modrá, zelená, žlutá, červená	světelné show, oční lékařství	
CO ₂	10,6 μm	IR	svaření, řezání, zubní lékařství, strojírenství	vysoký výkon až 15 000W, kontinuální či pulsní
Barvivo (kapalinové) lasery:				
Rhodamin 6G	570-650 nm	žlutá, oranžová, červená	dermatologie	Laditelný
Kumarin C30	504 nm	zelená	oční lékařství, chirurgie	
Pevnolátkové lasery:				
rubínový	694 nm	červená	holografie, odstraňování tetování	Výkon 5W, pulsní
Nd:YAG	1064 nm	IR	litografie, chirurgie, pájení, spektroskopie, strojírenství	Kontinuální, výkon až 1200W
Ho:YAG	2,1 μm	IR	chirurgie, zubní lékařství	pulsní
Er:YAG	2,94 μm	IR	chirurgie, zubní lékařství	pulsní
Ti:safir	690 - 1000 nm	červená, IR	spektroskopie	laditelný
Polovodičové lasery:				
GaAs	650 nm, 840 nm	červená, IR	laserová ukazovátka, tiskárny	Výkon 2 až 10mW, pulsní
GaAlAs	670-830 nm	červená	telekomunikace, přehrávače CD, displeje	barva závisí na složení, střední výkon 1W
AlGaInP	650 nm	červená	přehrávače DVD	
GaN	405 nm	modrá	Blu-ray disky	
InGaAlP	630-685 nm	červená	lékařství	

Poznámka k Tabulka 1. : UV - ultraviolet (ultrafialová), IR - infrared (infračervená)

1.3 Laserové dělení materiálu

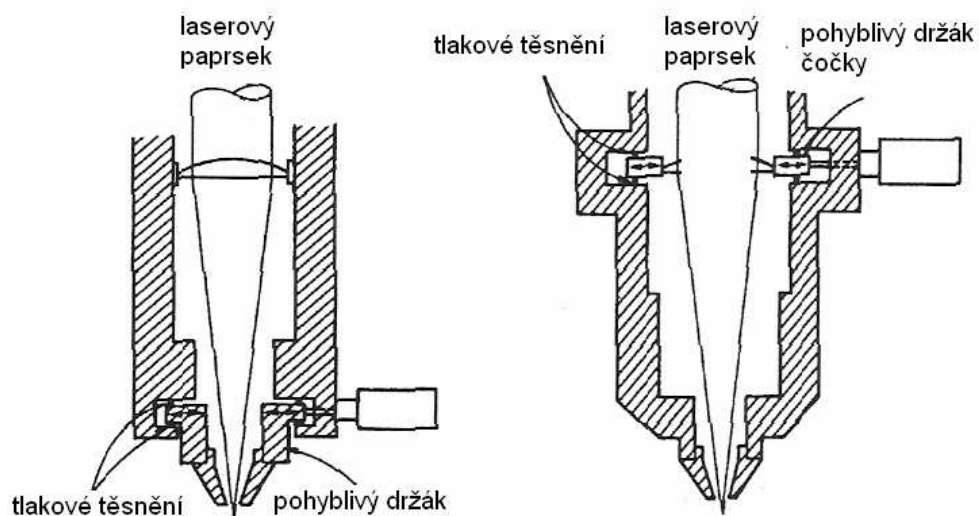
1.3.1 Teorie dělení laserem

Vzniklý paprsek po průchodu polopropustným zrcadlem je soustavou zrcadel odváděn na patřičné místo. V případě průmyslových laserů je to většinou řezací či svářecí hlava. Zde se laserový paprsek soustřeďuje pomocí fokusační čočky a mísí s řezným plynem. Dýzu opouští fokusovaný paprsek spolu s pomocným plynem.

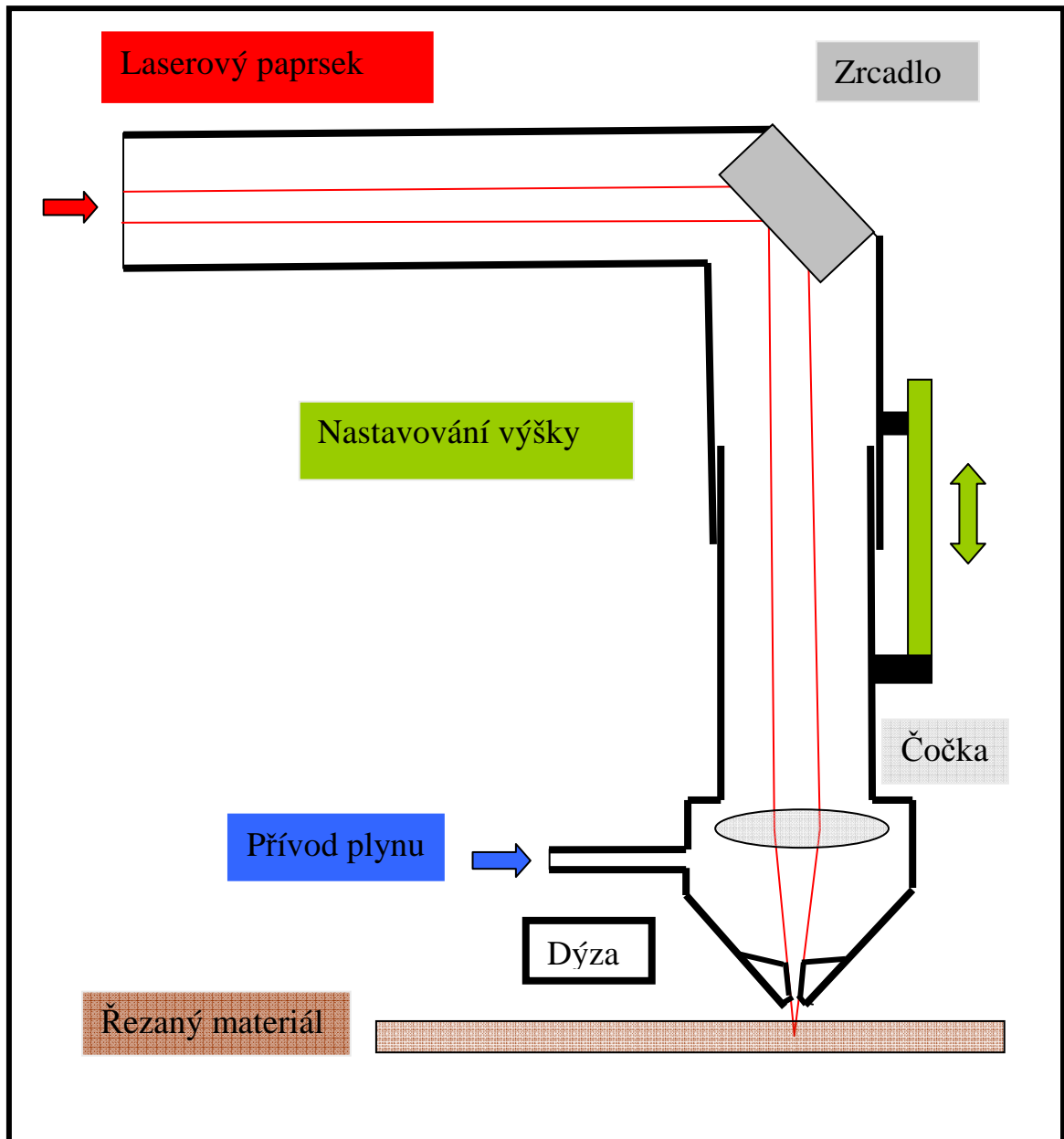
Pomocný plyn má následující funkce:

- chránit optiku před produkty rozkladu materiálu opracovaného laserem,
- může vytvářet v dopadu laserového paprsku na materiál ochranou, anebo naopak oxidační či jinak vhodně agresivní atmosféru,
- odstraňuje z obráběného materiálu ohřevem vznikající taveninu a nebo páry, čímž přispívá k čistějšímu a rychlejšímu průběhu opracování materiálu. [5]
- přispívá k čistějšímu a rychlejšímu průběhu opracování materiálu. [5]

Pro řezání pomocí laseru se využívá laserová hlavička, jejímž hlavním účelem je přivádět pomocný plyn do zóny řezání. Laserová hlavička má různou konstrukci podle uspořádání a uložení přívody stlačeného plynu. Obr. 1.3 ukazuje dva typy nejčastěji používaných uspořádání. [5]



Obr. 3. Základní uspořádání hlavy u CO2 laserů. [5]



Obr. 4. Schéma laserového stroje.

1.3.2 Technologie dělení

a) Laserové protavování

Při soustředění energie laserového paprsku do ohniska o průměru 0,05-0,25 mm se zvyšuje teplota materiálu nad teplotu tavení. Roztavený materiál odfukuje inertní plyn. U snadno hořlavých nekovových materiálů se používá inertních plynů např. argonu či dusíku jako ochrany proti vznícení nebo opálení řezných hran.

b) Laserové sublimační řezání

Energie soustředěného laserového paprsku ohřívá materiál na teplotu odpaření. Páry vznikající tímto procesem opět odstraňuje inertní plyn z trysky. Řezná spára je poměrně úzká a kvalitnější. V porovnání s laserovým protavováním je spotřeba energie na jednotku délky řezu větší.

c) Laserové pálení

Soustředěná energie laserového paprsku ohřívá v místě jeho dopadu materiál na zápalnou teplotu a ten je následně spálen proudem aktivního plynu – nejčastěji kyslíku. Vzniklá oxidace povrchu materiálu zvyšuje schopnost materiálu absorbovat energii laseru díky snížení odrazivosti a také vznikem přídavného exotermického reakčního tepla, což umožňuje zvětšování řezných rychlostí.

1.3.3 Řezné plyny

a) Kyslík

Pro řezání laserem nelegovaných a nízkolegovaných ocelí se používá jako řezného plynu nejčastěji kyslíku. Kyslík chemicky reaguje s řezaným materiálem a spolu s exotermickou reakcí vzrůstá řezná rychlost. Ta je nejvíce ovlivněna čistotou kyslíku, což má zásadní význam pro dosažení co nejvyšší produktivity.

b) Dusík

K řezání vysoce legovaných ocelí včetně korozivzdorných ocelí, hliníku a jeho slitin se používá dusík. Jeho typickou vlastností je, že při řezání nereaguje s řezaným materiálem. Proto chybí tepelný příspěvek chemické reakce a řezná rychlost je z toho důvodu nižší ve srovnání s rychlostí při řezání kyslíkem. Vysoká čistota řezného plynu opět hraje významnou roli, tentokrát pro zachování korozivzdornosti u korozivzdorných ocelí popř. u nelegovaných a nízkolegovaných ocelí.

Pro získání kvalitních řezných hran na spodní řezné straně musí být tlak vyšší než 10 barů, čím je pak řezaný materiál silnější, tím musí být tlak dusíku větší.

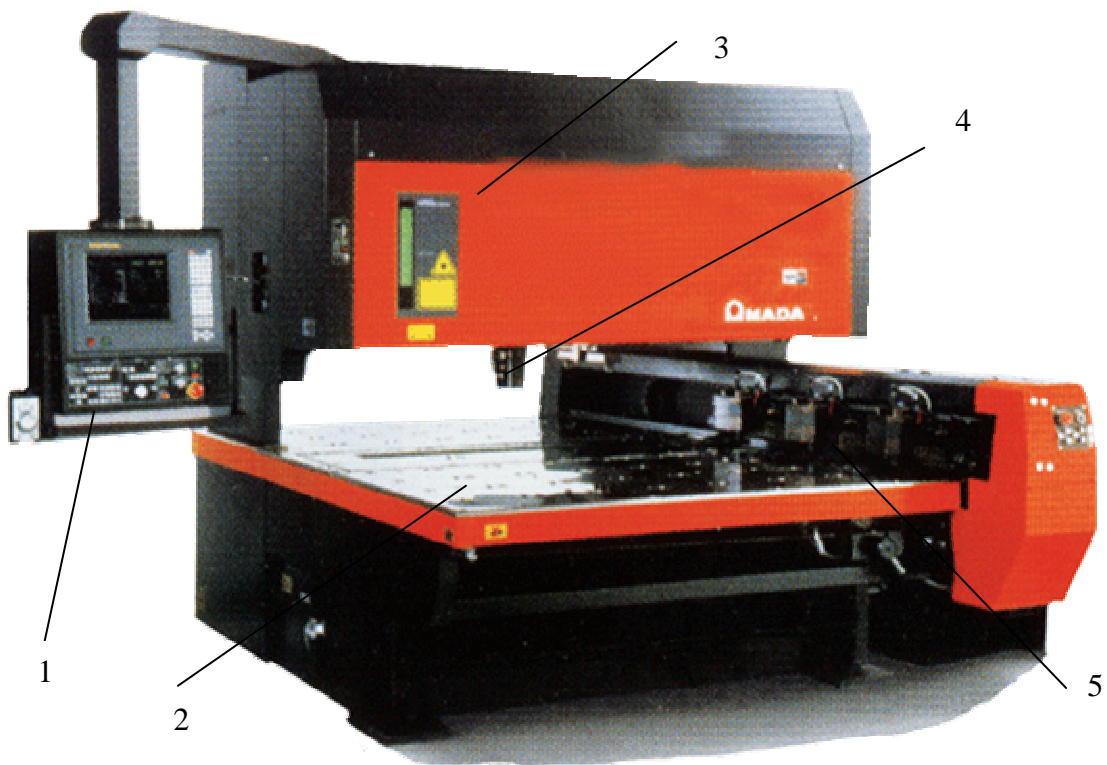
c) Argon

Jako inertní plyn je vhodný pro řezání vysoce reaktivních materiálů jako jsou titan a zirkon. Účelem je, aby řezný plyn s řezaným kovem vůbec nereagoval.

d) Směsné plyny

Směsné plyny jsou používané ve speciálních požadavcích na řezání materiálů. Dusík spolu s kyslíkem jsou dobře použitelné pro řezání hliníku a jeho slitin. Argon spolu s heliem se používá při řezání titanu a zirkonu.

1.4 Konstrukce Laseru k dělení materiálu



Obr. 5. Laserový stroj Amada. [2]

1. Ovládací panel
2. Pracovní stůl
3. Rezonátor
4. Laserová hlava
5. Upinky pro přidržování plechu

2 TECHNOLOGIE VÝROBY NA CNC VYSTŘIHOVACÍM LISU

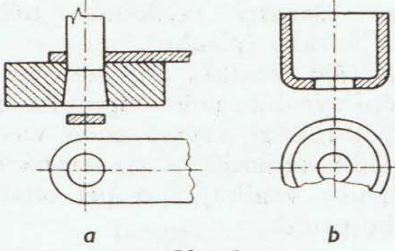
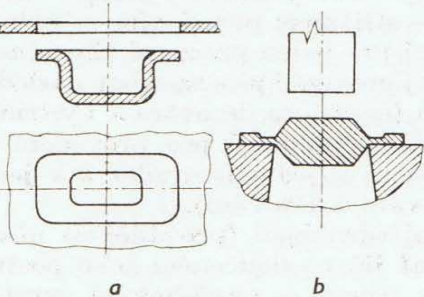
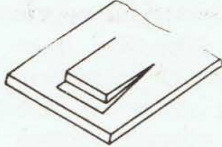
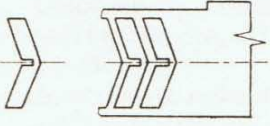
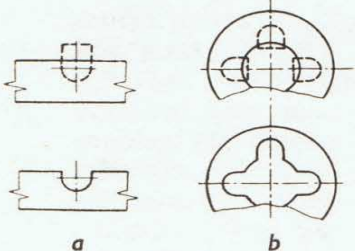
CNC vystřihovací stroj lze použít pro širokou paletu plošných stříhacích prací (především plechů) označených dle normy ČSN 22 6001 jako je děrování, prostřihování, nastřihování, protrhávání, vystřihování a vysekávání. Díky CNC řízení je relativně stará technologie stříhání stále s prospěchem využívána i dnes.

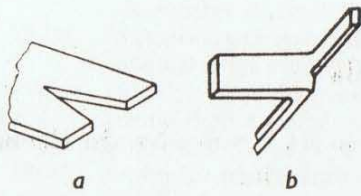
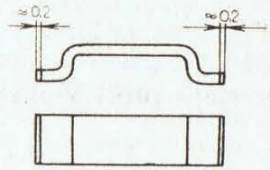
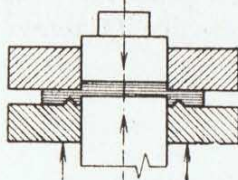
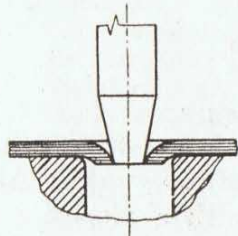
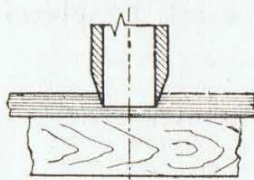
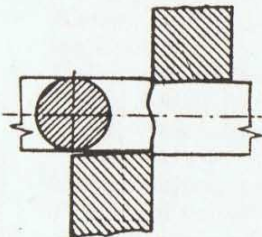
Moderní CNC vystřihovací lisy lze poměrně rychle seřadit a využívat je i pro malé výrobní série, pro které by se seřizování klasických lisů nevyplatilo. CNC řízení umožňuje snadno využívat technologických operací jako je niblování, což je postupné ostřihování vnitřních a vnějších složitějších tvarů pouze jediným nástrojem. Výhodou je taktéž rychlé natáčení nástrojů umístěných v otočných stanicích.

Významnou výhodou je děrování otvorů různých tvarů, ať už v pravidelných či nepravidelných rastroch. Zvýšit ekonomickou efektivitu děrování lze docílit použitím vícenásobných nástrojů.

2.1 Základní stříhací operace

Tabulka 2. Stříhací operace [3]

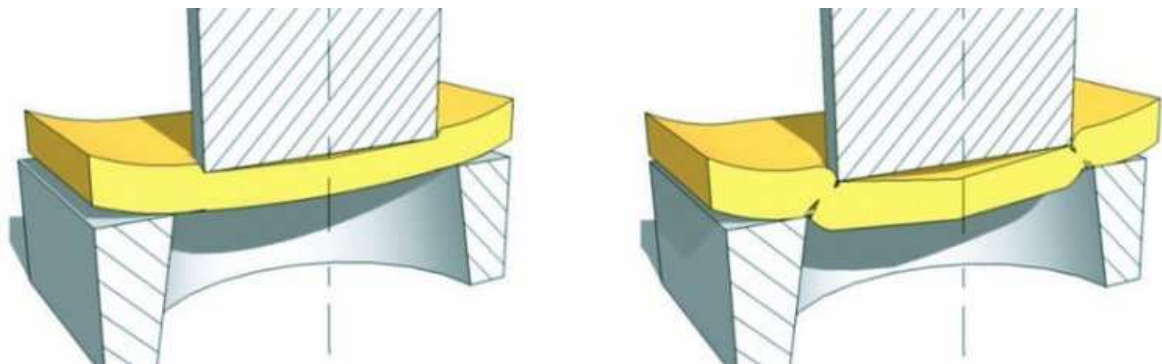
Operace	Schéma	Definice
děrování	 <p style="text-align: center;">Obr. 1.</p>	<p>Vytváření otvorů různých tvarů. Vystřižená část tvoří odpad.</p>
ostříhování	 <p style="text-align: center;">Obr. 2.</p>	<p>Oddělování přebytečného materiálu po obvodu součástí.</p>
Stříhání plošné	 <p style="text-align: center;">Obr. 3.</p>	<p>Částečné oddělení materiálu v libovolném tvaru uvnitř dílce.</p>
	 <p style="text-align: center;">Obr. 4.</p>	<p>Zhotovení výstřižku oddělením od materiálu po uzavřeném obrysu. Vystřižená část tvoří výrobek.</p>
	 <p style="text-align: center;">Obr. 5.</p>	<p>Oddělování částí v okraji i uvnitř materiálu. Vystřižená část tvoří odpad.</p>

Operace		Schéma	Definice
Stříhání plošné	nastříhování	 <p>Obr. 6.</p>	Částečné oddělení materiálu v okraji tak, že není úplně oddělen.
	přistříhování	 <p>Obr. 7.</p>	Dosažení přesných tvarů, rozměrů nebo hladkých ploch.
	přesné vystříhování	 <p>Obr. 8.</p>	Vystříhování upravené pro dosažení hladkých a přesných střížných ploch bez dalšího opracování.
	protrhávání	 <p>Obr. 9.</p>	Vytvoření hrotů, otvorů, výstupků v plochém materiálu, přičemž se materiál vyhne z původní roviny.
	vysekávání	 <p>Obr. 10.</p>	Oddělování nekovového materiálu nástrojem na podložce.
	stříhání profilů, tyčí, trubek apod.	 <p>Obr. 11.</p>	Dělení profilů, tyčí a trubek podle neuzavřeného obrysu noži, které se míjejí při proměnné tloušťce stříhaného průřezu.

2.2 Střížný proces

Průběh stříhání se dá rozdělit do tří částí. V první dosedá střížný nástroj na povrch stříhaného materiálu, kde jeho působením vznikají plastické deformace. Střížník v této fázi se nachází v hloubce 5 – 8 % tloušťky materiálu. Materiál je namáhán v ploše mezi střížníkem a střížnicí. Tímto způsobem dochází ke vzniku silových dvojic, které materiál namáhají ohybem.

Po překročení meze kluzu stříhaného materiálu dochází k jeho trvalé deformaci. V této fázi se střížník nachází v 10 – 25 % jeho tloušťky.



Obr. 6. Střížný proces. [3]

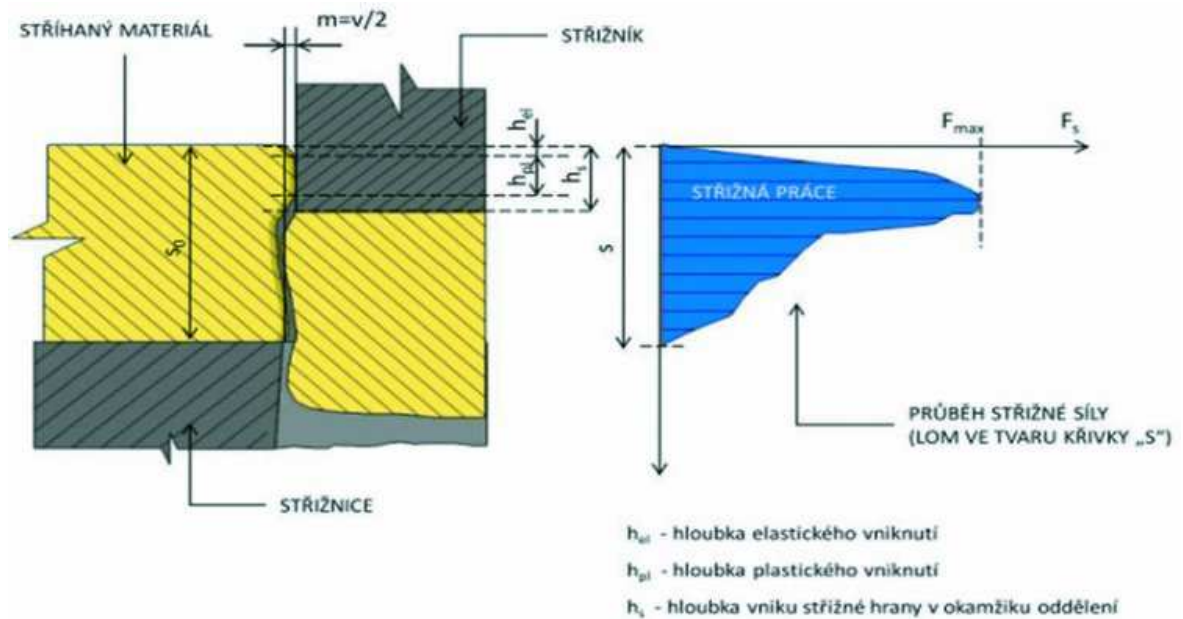
Třetí fáze se začne projevovat vznikem mikrotrhlin u hran střížníku, které se vzápětí změní v makroskopické trhliny. Materiál je tedy namáhán nad mez pevnosti ve stříhu. Prodlužování trhlin je již výsledkem oddělování materiálu. Její rychlost je závislá na mechanických vlastnostech materiálu, průběh na velikosti střížné vůle.

2.2.1 Střížná síla

Je to síla, která je zapotřebí k vystřížení výrobku z pásu plechu, tabule... . Velikost střížné síly se v průběhu pracovního zdvihu mění. V každém okamžiku je dána součinem dvou proměnných veličin, střížného odporu a stříhané plochy. Pokud stříháme křehké materiály, tak ustřížení nastane již při mírném proniknutí střížníku do stříhaného materiálu. U měkčích materiálů vniká střížník hlouběji. V průběhu stříhání střížný odpor vlivem zpevnování stříhaného materiálu vzrůstá. [6]

Při reálném stříhání nedochází pouze k čistému smykovému ale ke kombinovanému namáhání, proto střížnou sílu navyšujeme o 20 – 50 %.

Při stříhání křehkých materiálů dochází k jejich porušení ihned po vniknutí střížníku u houževnatých materiálů však dochází k jejich zpevňování a růstu střížného odporu a síly.

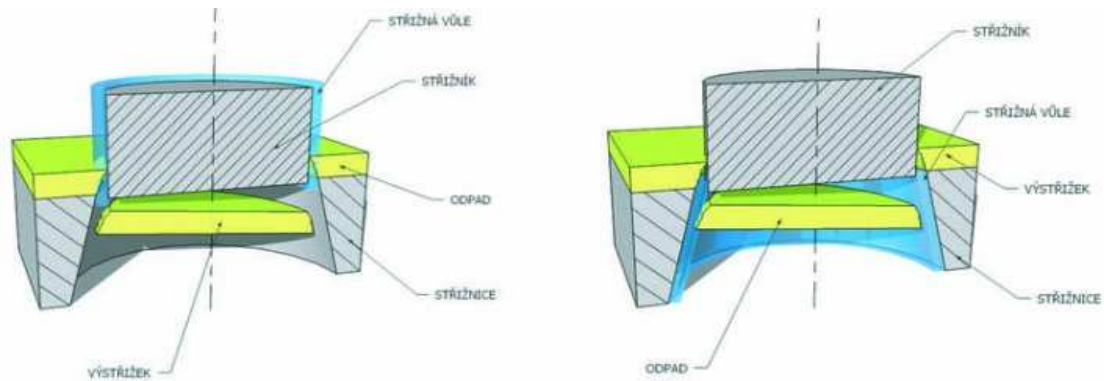


Obr. 7. Střížná síla. [3]

Průběh střížné síly F_s v závislosti na poloze střížníku a lze ji snížit až o 30 – 40 % úpravou hrany střížníku jeho zešikmením

2.2.2 Střížná vůle

Střížná vůle má zásadní vliv na kvalitu stříhu, spotřebu energie a životnost nástroje. Jedná se o polovinu střížné mezery. Musí být stejná a rovnoměrně rozložená. Nerespektování této zásady je příčinou nekvalitního povrchu a nerovnoměrného opotřebení nástroje, které může vést k jeho úplnému zničení.



Obr. 8. Střížná vůle [3]

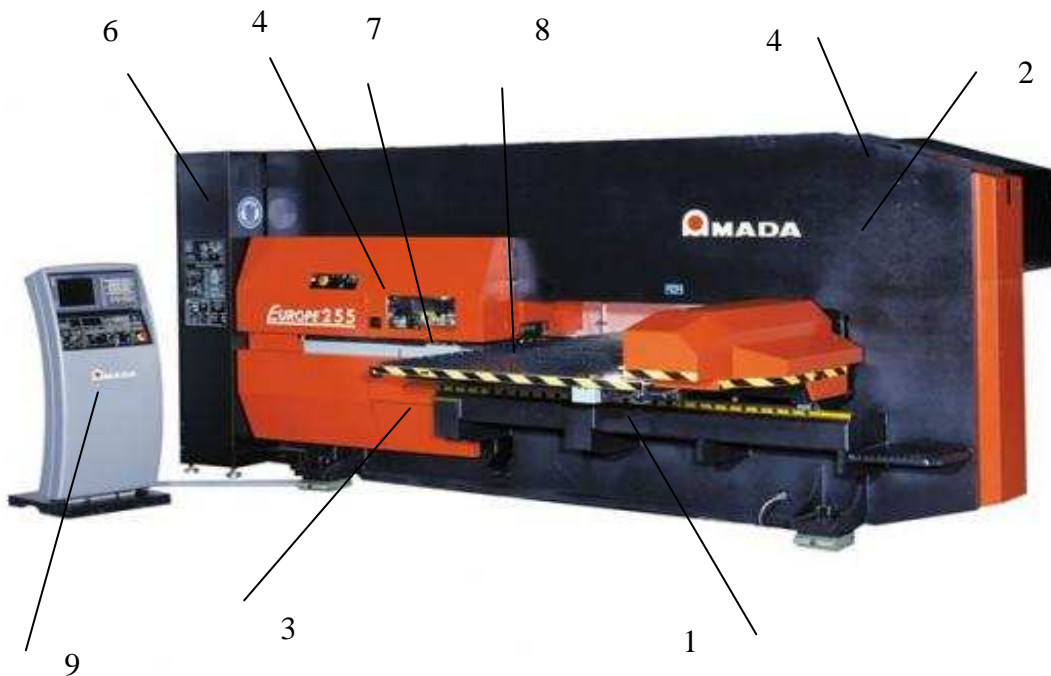
Tabulka 3. Střížné vůle vybraných materiálů. [3]

Materiál	Střížná vůle (%) do 2,5 mm	Střížná vůle (%) do 2,5 - 6mm
Ocel měkká	5	7 - 8
Ocel středně tvrdá	6	6 - 8
Ocel tvrdá	7 - 9	7 - 10
Hliník	4 - 7	5 - 9
Dural	7 - 8	7 - 10
Měď měkká	4 - 5	5 - 6
Měď tvrdá	6 - 7	6 - 7
Mosaz měkká	4 - 5	4 - 6
Mosaz tvrdá	5 - 6	5 - 7
Papír, lepenka	2 - 3	3
Fibr, textil	2 - 4	-

Rychlost stříhání se do 100 zdvihů/min neprojevuje ale od této hodnoty se velikost střížného odporu zvětšuje 1,06 až 1,09 krát a od 300 zdvihů/min se střížný odpor zvětšuje 1,12 až 1,15 krát. Střížnou sílu naopak snižuje mazání a to až o 30 – 40%

2.3 Konstrukce CNC vystřihovacího lisu

CNC vystřihovací lisy jsou po konstrukční stránce poměrně jednoduchá zařízení. Na obrázku je vysekávací lis firmy AMADA typu Europe 245.



Obr. 9. Vystřihovací stroj Amada Europe 255. [2]

Tabulka 4. Popis vystřihovacího lisu

1.Šroub osy X	6.Elektrický rozvaděč
2.Zásobník hydraulického oleje	7.Revolverový zásobník
3.Pracovní stůl	8.Beran
4.Motor a čerpadlo	9.Ovládací panel
5.Motor revolverového zásobníku	

2.3.1 Dělení CNC vystřihovacích lisů

CNC vystřihovací lisy se dělí podle výměny nástrojů na:

- lisy s ruční výměnou nástrojů (dnes už ne příliš rozšířené)
- lisy s automatickou výměnou nástrojů

Podle druhu zásobníku známe CNC vysekávací lisy na

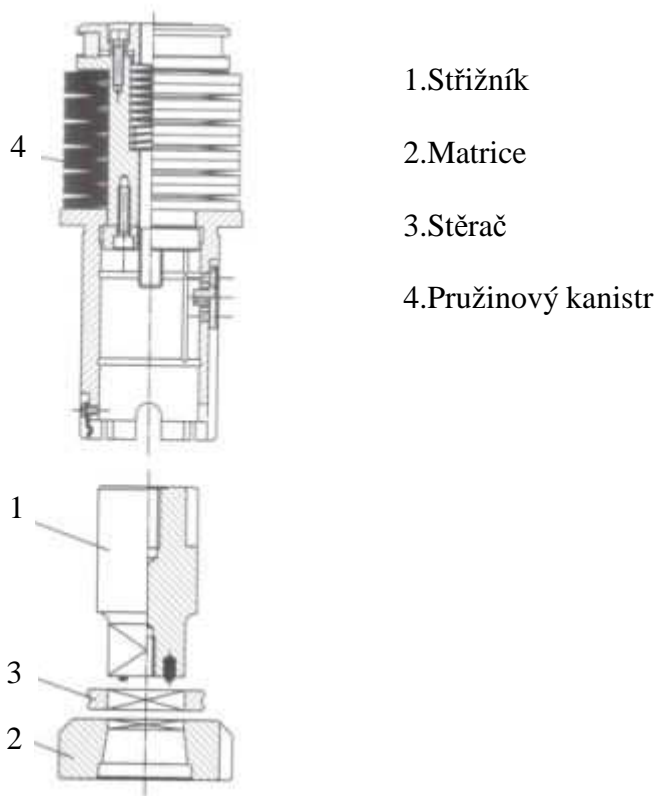
- lisy s revolverovou hlavou
- lisy s řadovým zásobníkem

Počet umístěných nástrojů v zásobníku se liší podle konstrukce stroje. U lisů střední třídy s lisovací silou 20 tun jsou nejčastější zásobníky na 20 až 40 nástrojů umístěných v nástrojových stanicích. Některé tyto stanice jsou otočné a natáčejí se v rozsahu 0° až 360° dle NC programu. Nástroj umístěný v revolverovém zásobníku má odhalenou horní část pružinového kanistru, kam je veden úder beranem a ten se přenáší na razník.

2.3.2 Vystříhovací nástroj

Vystříhování na CNC vystříhovacím lisu se provádí pomocí střížníku který prostřihává plech proti matrici. Tento pohyb způsobuje beran pod který se natočí patřičný nástroj ze zásobníku. Po samotném prostříhu je materiál setřen stěračem z těla razníku. Samotný plech je přidržován úpinkami a pro umístění otvoru na požadované místo se plech pohybuje v ose X a Y.

Obrázek nástroje do revolverové hlavy:



Obr. 10. Vystříhovací nástroj. [4]

3 SROVNÁNÍ LASEROVÉHO DĚLENÍ A CNC VYSTŘIHOVÁNÍ

Srovnávání technologií laserového dělení materiálu a CNC vystřihování lze pouze za přesně definovaných podmínek. Především v případě laserů existuje značné množství druhů se značně rozdílnými technickými specifiky.

Srovnáváno tedy bude dělení pomocí CO₂ laseru a CNC vystřihovacího stroje s revolverovým zásobníkem.

3.1.1 Laserové řezání - výhody

- a. Význam laserového paprsku stoupá se zvětšující se silou materiálu. U silnějších materiálu již lze použít technologii vystřihování jen velmi omezeně.
- b. Hrany v místě řezu jsou spáleny, takže většinou není třeba další dokončovací operace k srážení hran.
- c. Jednodušší a rychlejší nastavení stroje na další druh práce

3.1.2 Laserové řezání – nevýhody

- a. Vyšší pořizovací náklady na laserový stroj
- b. Vyšší provozní náklady
- c. Vyšší nároky na kvalitu materiálu
- d. Obtížnější zpracovávání některých materiálů (měď, polymery)

3.1.3 CNC vystřihování – výhody

- a. Nižší pořizovací náklady na CNC vystřihovací stroj
- b. Nižší provozní náklady
- c. Zaoblená hrana v místě výstřihu na lícové straně zpracovávaného materiálu
- d. Možnost využívání tvářecích operací
- e. Lze zefektivňovat výrobu použitím násobných nástrojů
- f. Menší nároky na kvalitu materiálu

3.1.4 CNC vystřihování – nevýhody

- a. Ostřina na rubové straně zpracovávané plochy
- b. Nutnost broušení nástrojů
- c. Obtížné zpracovávání tvrdých a křehkých materiálů
- d. Delší příprava na výrobu dalšího výrobku v případě použití nástrojů umístěných mimo zásobník

4 CÍLE PRAKTICKÉ ČÁSTI DIPLOMOVÉ PRÁCE

V praktické části diplomové práce jsou vybrané díly vyrobeny na laserovacím stroji LC 1212 a pro srovnání na CNC vystřihovacím lisu Europe 245. Oba stroje jsou ve vlastnictví f. Kovostal s.r.o. Jarošov a zde byly také patřičné experimenty realizovány.

Hodnoceny budou především ekonomické aspekty, kdy budou porovnávány:

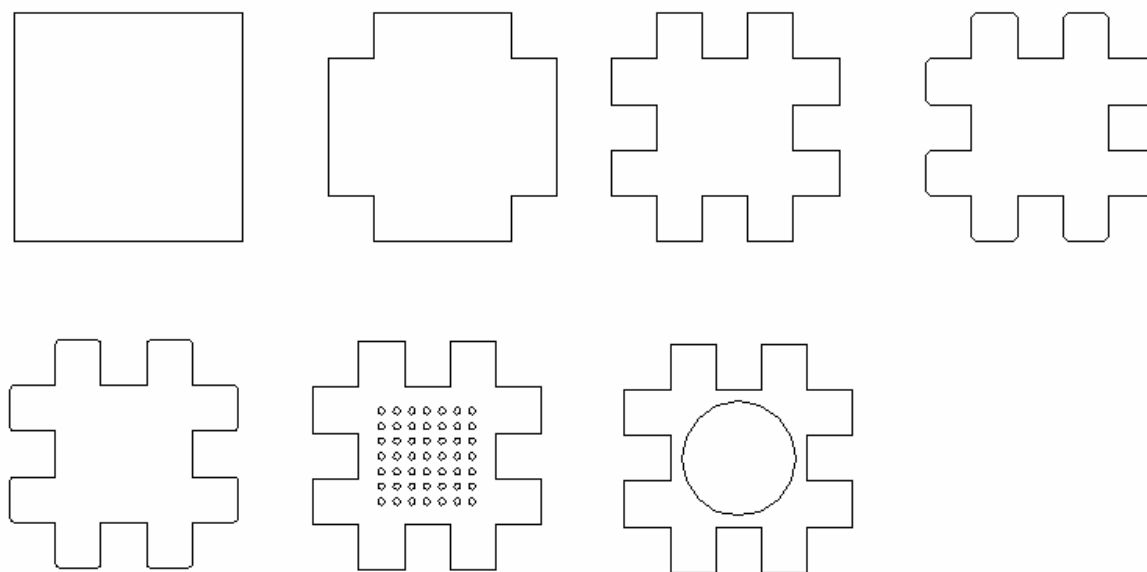
1. Náklady na výrobu jednotlivého dílu v kusové výrobě technologií laseru a vystřihováním
2. Náklady na výrobu téhož dílu v sérii výše jmenovanými technologiemi
3. Zhodnocení výhodnosti použití laseru a vystřihovacího stroje pro daný dílec v případě kusové a sériové výroby.

II. PRAKTICKÁ ČÁST

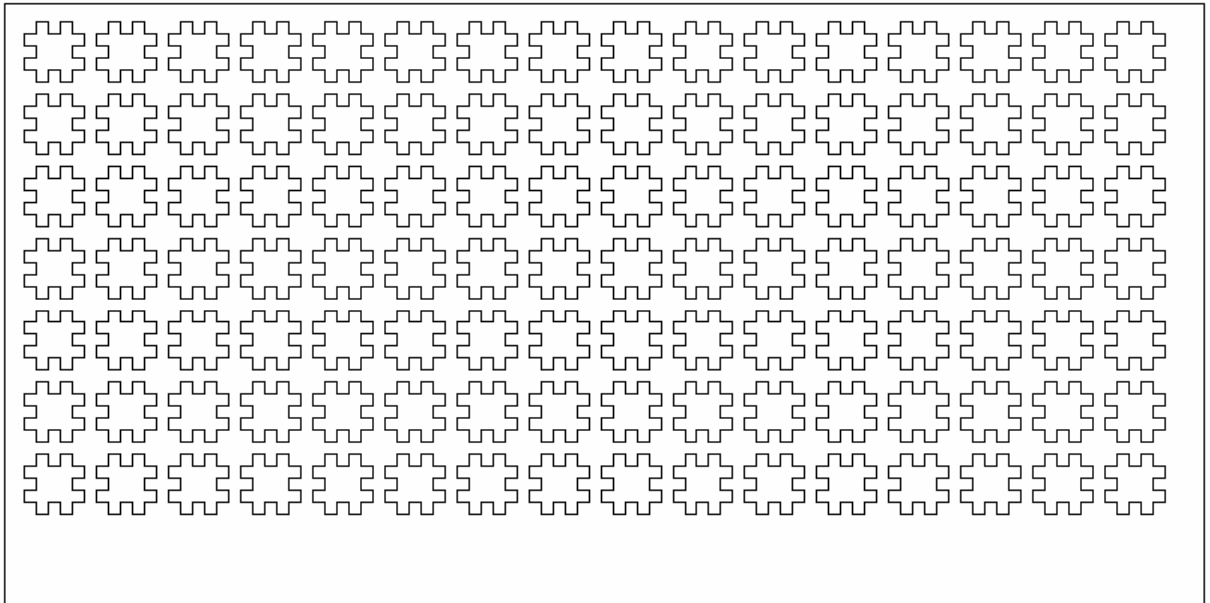
5 PODMÍNKY EXPERIMENTU

K porovnávání výhod technologií laseru a vystřihování byla určena sada typizovaných zásepek firmy Kovostal obr.1, které jsou téhož rozměru a materiálu. Jejich odlišnost tedy spočívá pouze v členitosti tvaru. K výrobě a následnému porovnávání byl použit CNC vystřihovací stroj Europe 245 a Laser LC 1212 od firmy Amada. Všechny stroje jsou ve vlastnictví firmy Kovostal s.r.o. Jarošov.

Porovnáván bude čas výroby na jednotlivých zařízeních. Jelikož se jedná o technologie s různými provozními náklady, tak bude určována i cena výroby jednotlivých výrobků. Zkoumána bude výhodnost výroby různými technologiemi a to jak pro jednotlivý kus, tak pro sériovou výrobu, která obnáší výrobu v počtu 112 ks. Tento počet lze umístit na standardizovanou tabuli plechu velikosti 2000 x 1000 mm obr.2 .



Obr. 11. Typy zásepek.



Obr. 12. Rozmístění záslepek.

K výrobě na CNC vystřihovacím stroji byly použity univerzální nástroje dodávané standardně s novým strojem, které jsou běžně umístěny v zásobníku stroje. Čas na eventuální výměnu nástroje budeme tedy zanedbávat.

Jedná se tedy o vystřihovací nástroje :

- a. tvaru kruhu v průměru 3, 5, 10 mm
- b. tvaru čtverce rozměru 15 x 15 mm
- c. tvaru obdelníku tvaru 30 x 3 mm

Nástroje tvaru čtverce a obdelníku jsou umístěny v otočných hlavách umožňující natáčení nástroje v rozmezí 0 ° až 360 ° .

.

5.1 Technické parametry laserového stroje LC 1212

Laserový stroj LC 1212 firmy Amada patří do kategorie CO₂ laserů s výkonem 2000 W. Je osazen řídicím systémem firmy Fanuc.

Základní pracovní rozsah stroje je 1270 mm v ose X a ose Y. Přidržovač umožňuje přesazování upnutého materiálu v ose X v nepřetržitém režimu.

Pohyb v ose X vykonává upnutý materiál ale pohyb v ose Y koná laserová hlava. Stroj je vybaven uzavíratelnou klapkou pro odebrání vystřižených kusů.



Obr. 13. Laserový stroj Amada LC 1212.

5.2 Technické parametry vystřihovacího stroje Europe 245

CNC vystřihovací stroj Europe 245 firmy Amada patří do kategorie strojů s maximální lisovací silou do 20 tun. Je vybaven automatickou výměnou nástrojů z revolverového zásobníku. Zde umístěné stanic se řadí do několika kategorií:

Stanice A : maximální rozměr nástroje do průměru 12. 7 mm

Stanice B : maximální rozměr nástroje do průměru 31. 7 mm

Stanice C : maximální rozměr nástroje do průměru 50. 8 mm

Stanice D : maximální rozměr nástroje do průměru 88. 9 mm

Z těchto stanic jsou dvě stanice typu B a jedna stanice typu C automaticky polohovatelné.

Pracovní rozsah stroje je 1270 mm v ose X a 1000 mm v ose Y. Přidržovač umožňuje přesazování upnutého materiálu v ose X v nepřetržitém režimu. Pohyb jak v ose X tak v ose Y koná upnutý materiál. Stroj je vybaven uzavíratelnou klapkou pro odebrání vystřižených kusů.



Obr. 14. Vystřihovací lis Europe 258.

5.3 Volba materiálu

K experimentu je určen hlubokotažný materiál 11 375 o tloušťce 1.5 mm vyráběný válcováním za studena. Tabule plechu bude mít rozměr 2000 x 1000 mm.

5.4 Postup měření

K měření času bude určen měřicí přístroj značky Casio HS 30 . Počátek hlavního měření započne spuštěním stroje v základní poloze. Do výsledného času se započítává i pojezd pod laserovou hlavu eventuálně pod beran vystřihovacího lisu. Konec měření nastává po najetí stroje zpět do výchozí polohy.



Obr. 15. Měřicí přístroj Casio HS 30.

Pomocná měření jednotlivých operací k rozboru technologie výroby bude realizováno stejným měřicím přístrojem. Hlavní i pomocné měření bude opakováno desetkrát a čas zanesený do protokolu je aritmetickým průměr těchto měření podle následujícího vzorce:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} (x_1 + x_2 + \dots + x_n) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (1)$$

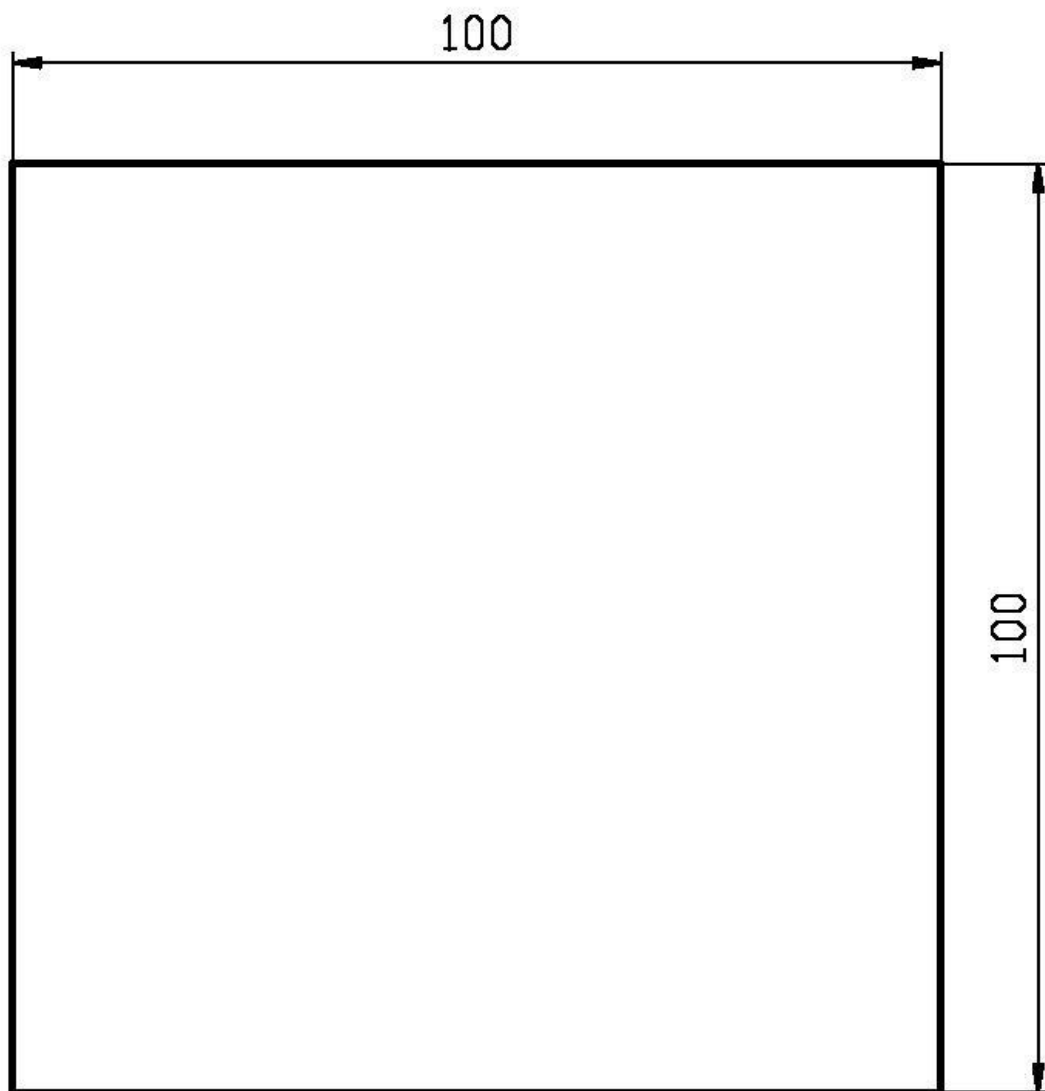
Čas výroby jednoho kusu v sérii bude získán podílem celkového času počtem výrobků rozmístěných na plechu.

Veškeré získané výrobní časy jsou získány z optimalizovaných programů, kde jsou minimalizovány vedlejší pracovní operace dle zvláštností jednotlivých technologií.

6 EXPERIMENTÁLNÍ MĚŘENÍ

6.1 Vzorek B1

Protokol k výrobě vzorku B1



Obr. 16. Záslepka typu B1.

Výroba kusu B1 laserem

Tabulka 5. Rozbor technologie výroby vzorku B1 – laser.

Postup operací	Pracovní operace	Vedlejší operace	Čas operace
1.		Nájezd pod laserovací hlavu	2 s
2.	Propich		2 s
3.	Obvod		3 s
4.		Odebrání kusu - klapka	3 s

Tabulka 6. Vyhodnocení výroby vzorku B1 – laser.

Vyhodnocení časové - 1 ks	10 s
Vyhodnocení cenové - 1 ks	7 Kč

Výroba kusu B1 stříhání

Tabulka 7. Rozbor technologie výroby vzorku B1 – stříhání.

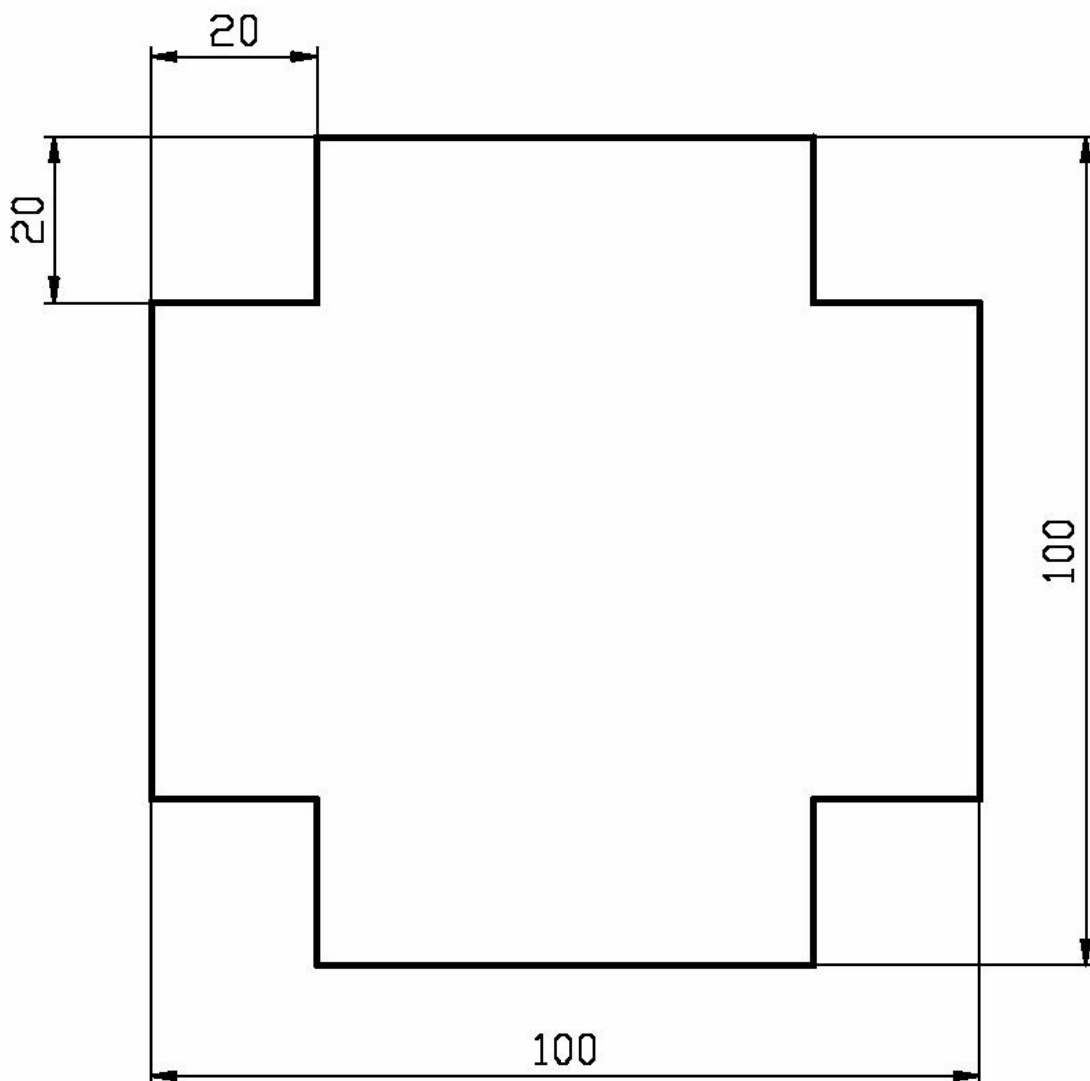
Postup operací	Pracovní operace	Vedlejší operace	Čas operace
1.		Nájezd pod beran	2 s
2.		Výběr nástroje ze zásobníku	2 s
3.	Sekání obvodu N1- 30 x 6 (0°)		3 s
4.		Otočení nástroje	3 s
5.	Sekání obvodu N1- 30 x 6 (90°)		3 s

Tabulka 8. Vyhodnocení výroby vzorku B1 – stříhání.

Vyhodnocení časové - 1 ks	13 s
Vyhodnocení cenové - 1 ks	6.5 Kč

6.2 Vzorek B2

Protokol k výrobě vzorku B2



Obr. 17. Záslepka typu B2.

Výroba kusu B2 laserem

Tabulka 9. Rozbor technologie výroby vzorku B2 – laser.

Postup operací	Pracovní operace	Vedlejší operace	Čas operace
1.		Nájezd pod laserovací hlavu	2 s
2.	Propich		2 s
3.	Obvod		3 s
4.		Odebrání kusu - klapka	3 s

Tabulka 10. Vyhodnocení výroby vzorku B2 – laser.

Vyhodnocení časové - 1 ks	10 s
Vyhodnocení cenové - 1 ks	7 Kč

Výroba kusu B2 – stříhání

Tabulka 11. Rozbor technologie výroby vzorku B2 – stříhání.

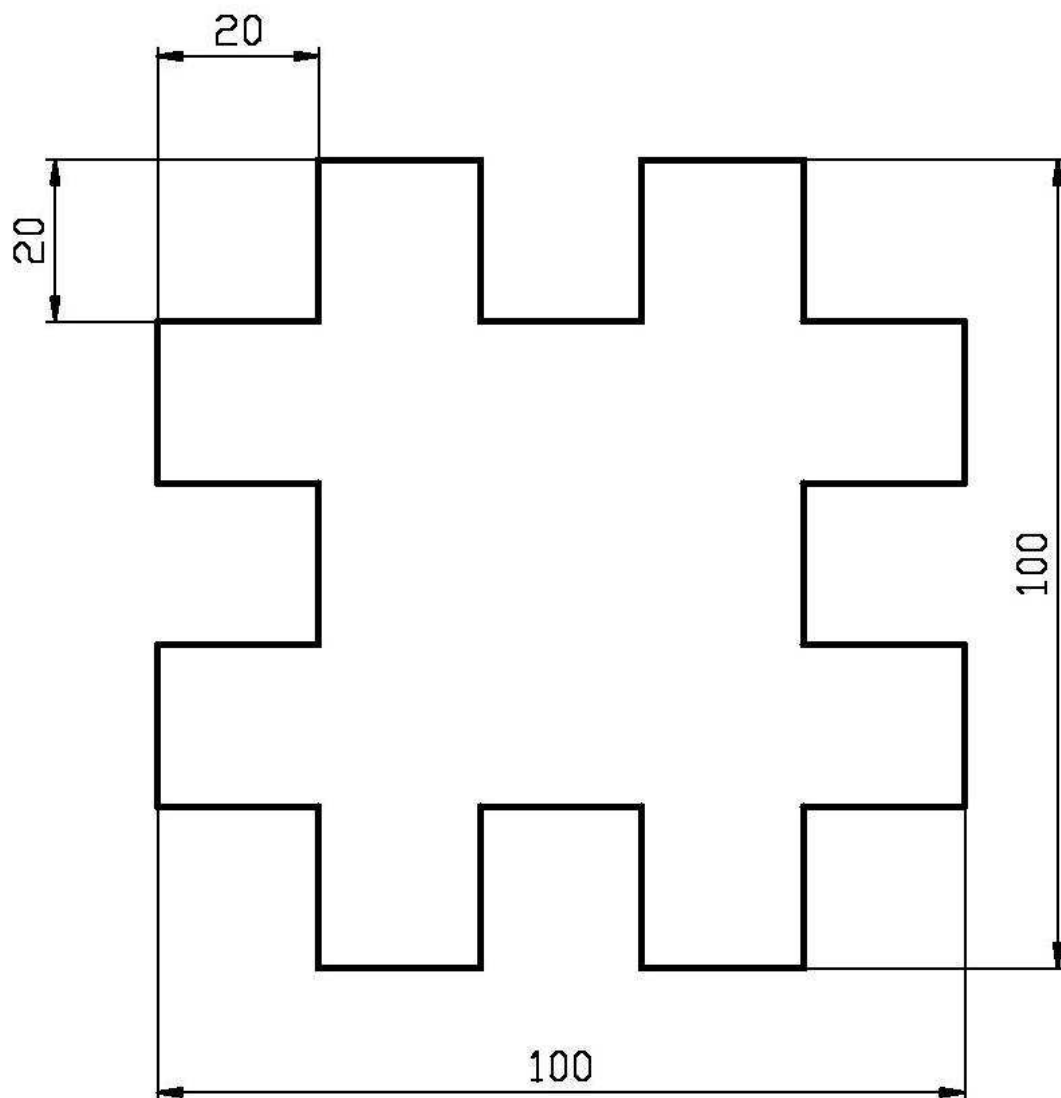
Postup operací	Pracovní operace	Vedlejší operace	Čas operace
1.		Nájezd pod beran	2 s
2.		Výběr nástroje ze zásobníku	2 s
3.	Sekání obvodu N1- 30 x 6 (0°)		2 s
4.		Otočení nástroje	3 s
5.	Sekání obvodu N1- 30 x 6 (90°)		2 s
6.		Výměna nástroje	3 s
7.	Sekání obvodu N2 – 15 x 15		6 s

Tabulka 12. Vyhodnocení výroby vzorku B2 – stříhání.

Vyhodnocení časové - 1 ks	17 s
Vyhodnocení cenové - 1 ks	8.5 Kč

6.3 Vzorek B3

Protokol k výrobě vzorku B3



Obr. 18. Záslepka typu B3

Výroba kusu B3 laserem

Tabulka 13. Rozbor technologie výroby vzorku B3 – laser.

Postup operací	Pracovní operace	Vedlejší operace	Čas operace
1.		Nájezd pod laserovací hlavu	2 s
2.	Propich		2 s
3.	Obvod		11 s
4.		Odebrání kusu - klapka	3 s

Tabulka 14. Vyhodnocení výroby vzorku B3 – laser.

Vyhodnocení časové - 1 ks	18 s
Vyhodnocení cenové - 1 ks	12.6 Kč

Výroba kusu B3 stříhání

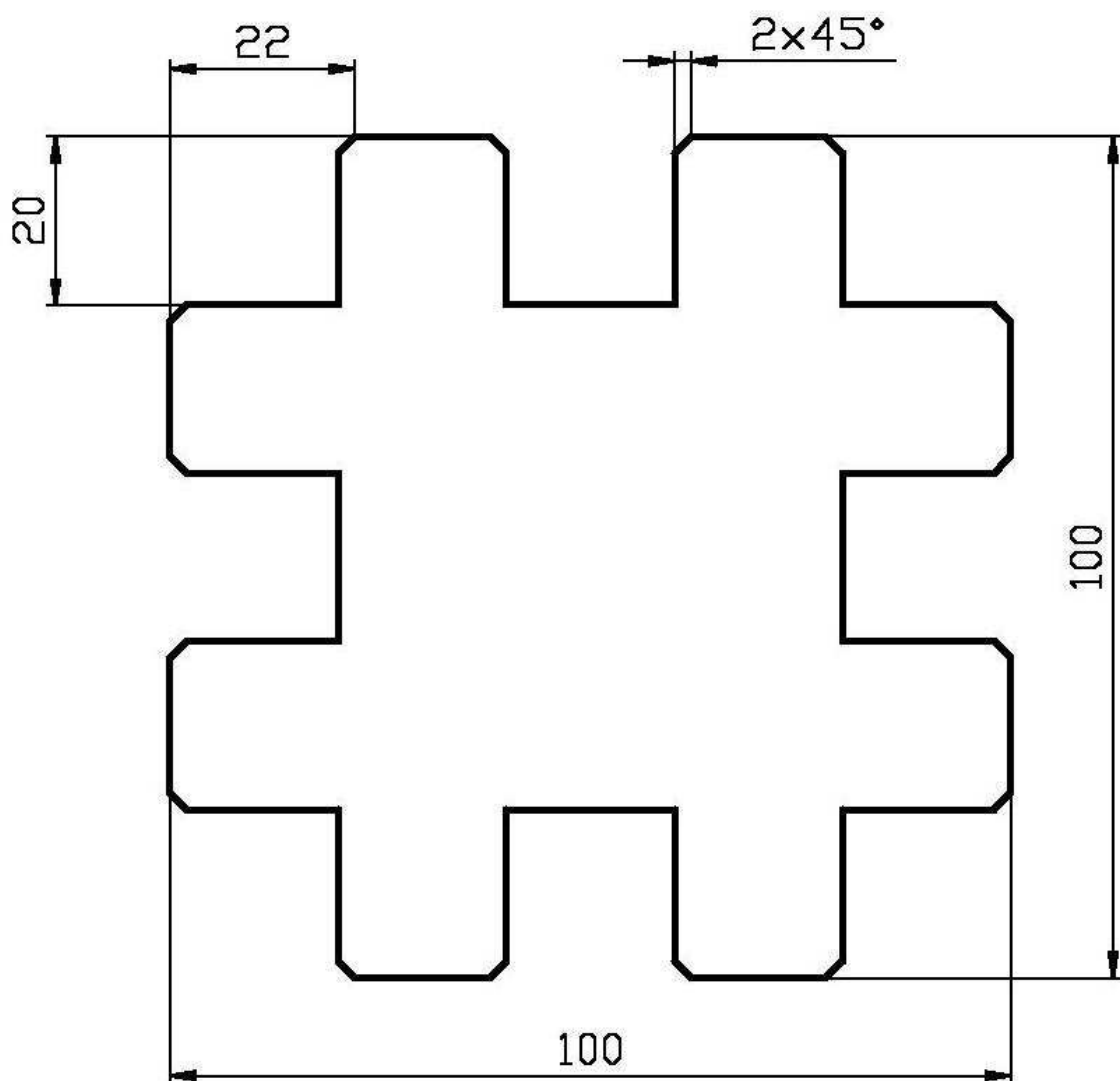
Tabulka 15. Rozbor technologie výroby vzorku B3 – stříhání.

Postup operací	Pracovní operace	Vedlejší operace	Čas operace
1.		Nájezd pod beran	2 s
2.		Výběr nástroje ze zásobníku	2 s
3.	Sekání obvodu N1- 30 x 6 (0°)		2 s
4.		Otočení nástroje	3 s
5.	Sekání obvodu N1- 30 x 6 (90°)		2 s
6.		Výměna nástroje	3 s
7.	Sekání obvodu N2 – 15 x 15		12 s

Tabulka 16. Vyhodnocení výroby vzorku B3 – stříhání.

Vyhodnocení časové - 1 ks	26 s
Vyhodnocení cenové - 1 ks	13 Kč

6.4 Vzorek B4



Obr. 19. Záslepka typu B4

Protokol k výrobě vzorku B4

Výroba kusu B4 laserem

Tabulka 17. Rozbor technologie výroby vzorku B4 – laser

Postup operací	Pracovní operace	Vedlejší operace	Čas operace
1.		Nájezd pod laserovací hlavu	2 s
2.	Propich		2 s
3.	Obvod		11 s
4.		Odebrání kusu - klapka	3 s

Tabulka 18. Vyhodnocení výroby vzorku B4 – laser.

Vyhodnocení časové - 1 ks	18 s
Vyhodnocení cenové - 1 ks	12.6 Kč

Výroba kusu B4 stříháním

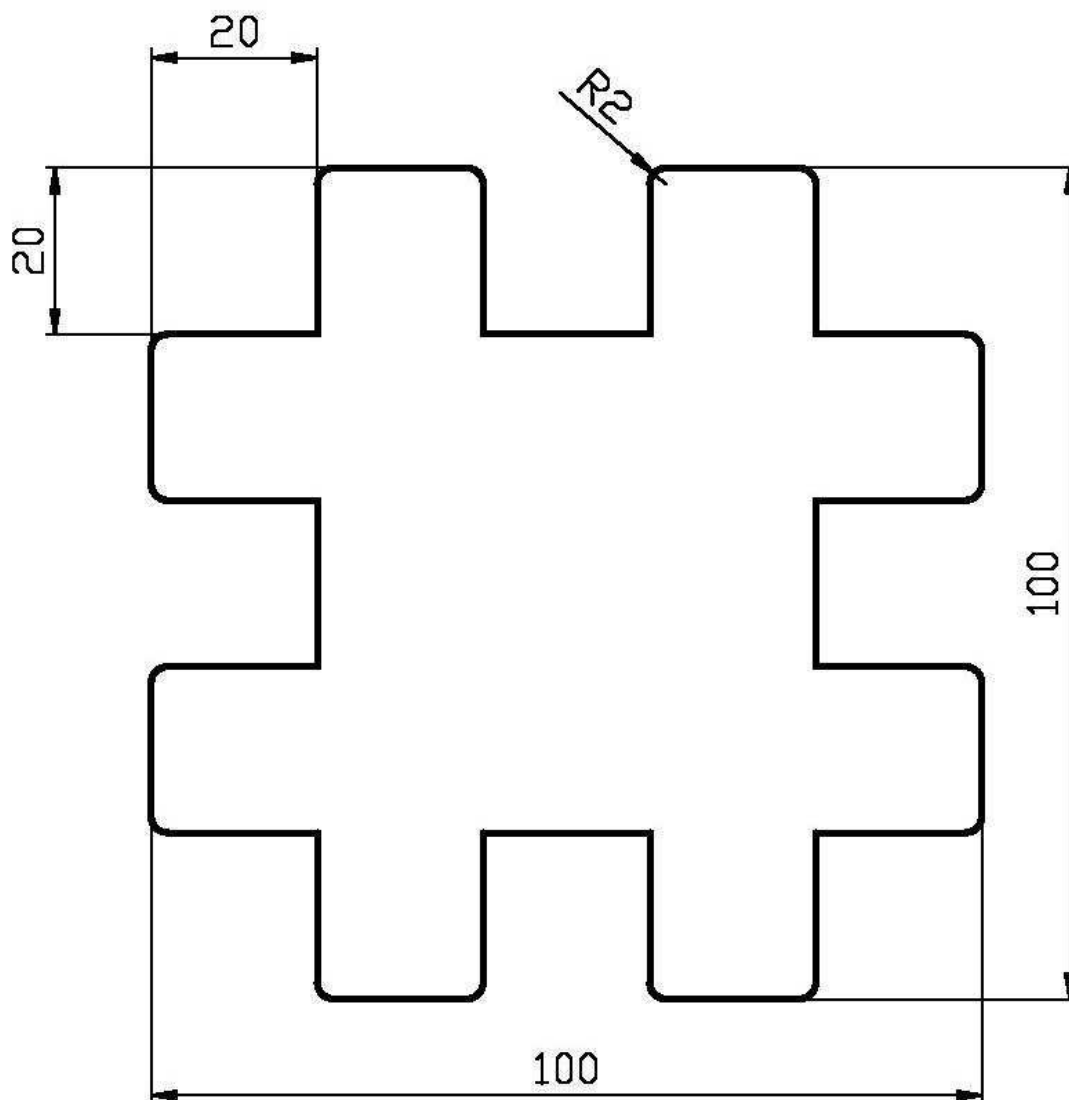
Tabulka 19. Rozbor technologie výroby vzorku B4 - stříhání .

Postup operací	Pracovní operace	Vedlejší operace	Čas operace
1.		Nájezd pod beran	2 s
2.		Výběr nástroje ze zásobníku	2 s
3.	Sekání obvodu N1- 30 x 6 (0°)		2 s
4.		Otočení nástroje	3 s
5.	Sekání obvodu N1- 30 x 6 (90°)		2 s
6.		Výměna nástroje	3 s
7.	Sekání obvodu N2 – 15 x 15		12 s
8.	Sekání rohu N2 – 15 x 15		6 s

Tabulka 20. Vyhodnocení výroby vzorku B4 – stříhání.

Vyhodnocení časové - 1 ks	32 s
Vyhodnocení cenové - 1 ks	16 Kč

6.5 Vzorek B5



Obr. 20. Záslepka typu B5.

Protokol k výrobě vzorku B5

Výroba kusu B5 laserem

Tabulka 21. Rozbor technologie výroby vzorku B5 – laser.

Postup operací	Pracovní operace	Vedlejší operace	Čas operace
1.		Nájezd pod laserovací hlavu	2 s
2.	Propich		2 s
3.	Obvod		9 s
4.		Odebrání kusu - klapka	3 s

Tabulka 22. Vyhodnocení výroby vzorku B5 – laser.

Vyhodnocení časové - 1 ks	16 s
Vyhodnocení cenové - 1 ks	11.2 Kč

Výroba kusu B5 stříhání

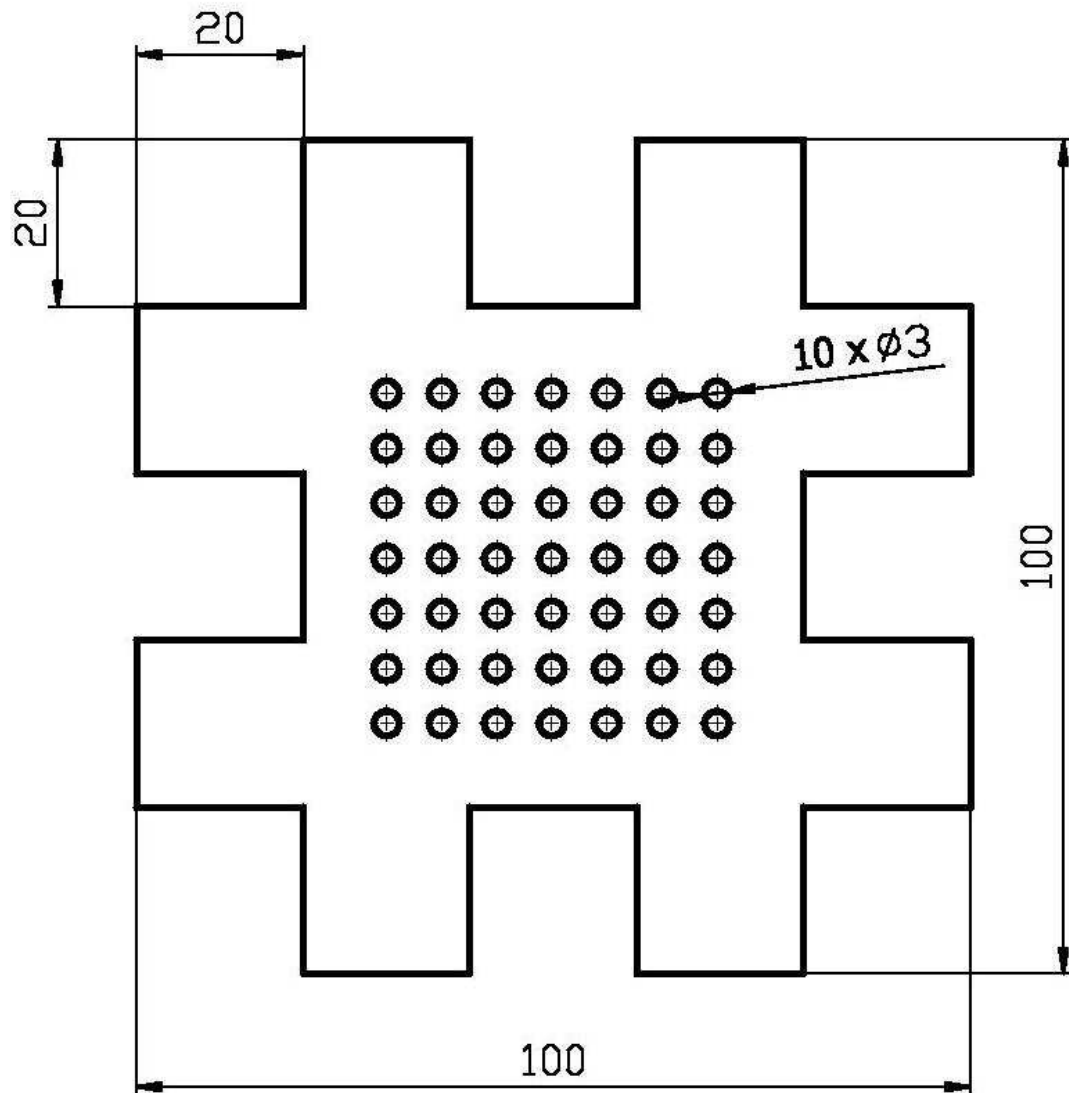
Tabulka 23. Rozbor technologie výroby vzorku B5 – stříhání.

Postup operací	Pracovní operace	Vedlejší operace	Čas operace
1.		Nájezd pod beran	2 s
2.		Výběr nástroje ze zásobníku	2 s
3.	Sekání obvodu N1- 30 x 6 (0°)		2 s
4.		Otočení nástroje	3 s
5.	Sekání obvodu N1- 30 x 6 (90°)		2 s
6.		Výměna nástroje	3 s
7.	Sekání obvodu N2 – 15 x 15		12 s
8.		Výměna nástroje	3 s
9.	Niblování rádiusu N3 – \varnothing 8		48 s

Tabulka 24. Vyhodnocení výroby vzorku B5 – stříhání.

Vyhodnocení časové - 1 ks	77 s
Vyhodnocení cenové - 1 ks	38.5 Kč

6.6 Vzorek B6

Protokol k výrobě vzorku B6

Obr. 21. Záslepka typu B6.

Výroba kusu B6 laserem

Tabulka 25. Rozbor technologie výroby vzorku B6 – laser.

Postup operací	Pracovní operace	Vedlejší operace	Čas operace
1.		Nájezd pod laserovací hlavu	2 s
2.	Propich		2 s
3.	Obvod		11 s
4.	Propichy díry		98 s
5.	Obvody díry		74 s
6.		Odebrání kusu - klapka	3 s

Tabulka 26. Vyhodnocení výroby vzorku B6 – laser.

Vyhodnocení časové - 1 ks	190 s
Vyhodnocení cenové - 1 ks	133 Kč

Výroba kusu B6 stříhání

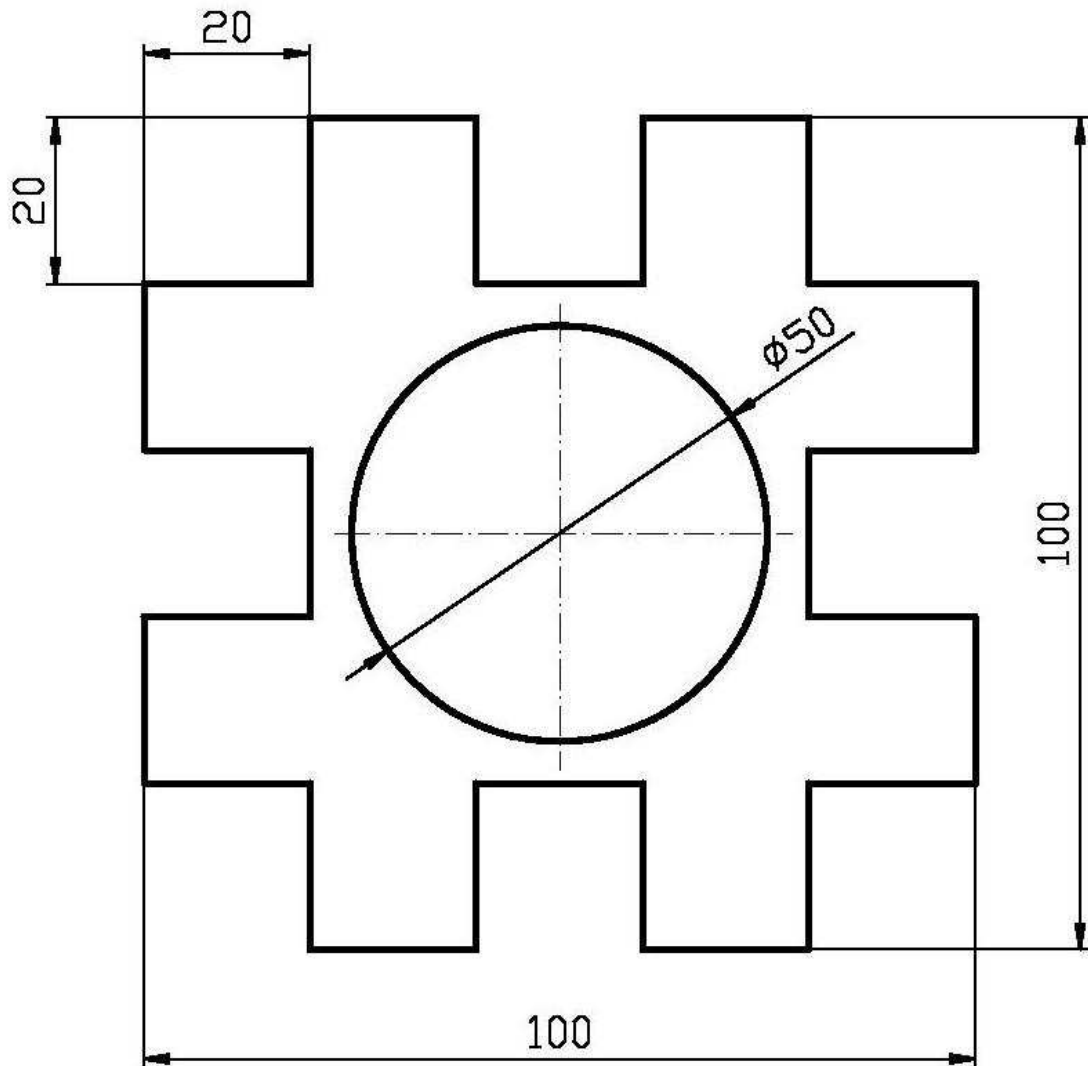
Tabulka 27. Rozbor technologie výroby vzorku B6 – stříhání.

Postup operací	Pracovní operace	Vedlejší operace	Čas operace
1.		Nájezd pod beran	2 s
2.		Výběr nástroje ze zásobníku	2 s
3.	Sekání obvodu N1- 30 x 6 (0°)		2 s
4.		Otočení nástroje	3 s
5.	Sekání obvodu N1- 30 x 6 (90°)		2 s
6.		Výměna nástroje	3 s
7.	Sekání obvodu N2 – 15 x 15		12 s
8.		Výměna nástroje	3 s
9.	Děrování		24 s

Tabulka 28. Vyhodnocení výroby vzorku B6 – stříhání.

Vyhodnocení časové - 1 ks	53 s
Vyhodnocení cenové - 1 ks	26.5 Kč

6.7 Vzorek B7

Protokol k výrobě vzorku B7

Obr. 22. Záslepka typu B7.

Výroba kusu B7 laserem

Tabulka 29. Rozbor technologie výroby vzorku B7 – laser.

Postup operací	Pracovní operace	Vedlejší operace	Čas operace
1.		Nájezd pod laserovací hlavu	2 s
2.	Propich		2 s
3.	Obvod		11 s
4.	Propich		2 s
5.	Obvod vnitřní díry		6 s
6.		Odebrání kusu - klapka	3 s

Tabulka 30. Vyhodnocení výroby vzorku B7 – laser.

Vyhodnocení časové - 1 ks	26 s
Vyhodnocení cenové - 1 ks	18.2 Kč

Výroba kusu B7 stříhání

Tabulka 31. Rozbor technologie výroby vzorku B7 – stříhání.

Postup operací	Pracovní operace	Vedlejší operace	Čas operace
1.		Nájezd pod beran	2 s
2.		Výběr nástroje ze zásobníku	2 s
3.	Sekání obvodu N1- 30 x 6 (0°)		2 s
4.		Otočení nástroje	3 s
5.	Sekání obvodu N1- 30 x 6 (90°)		2 s
6.		Výměna nástroje	3 s
7.	Sekání obvodu N2 – 15 x 15		12 s
8.		Výměna nástroje	3 s
9.	Vysekání vnitřní díry - niblováním		40 s

Tabulka 32. Vyhodnocení výroby vzorku B7- stříhání.

Vyhodnocení časové - 1 ks	66 s
Vyhodnocení cenové - 1 ks	33 Kč

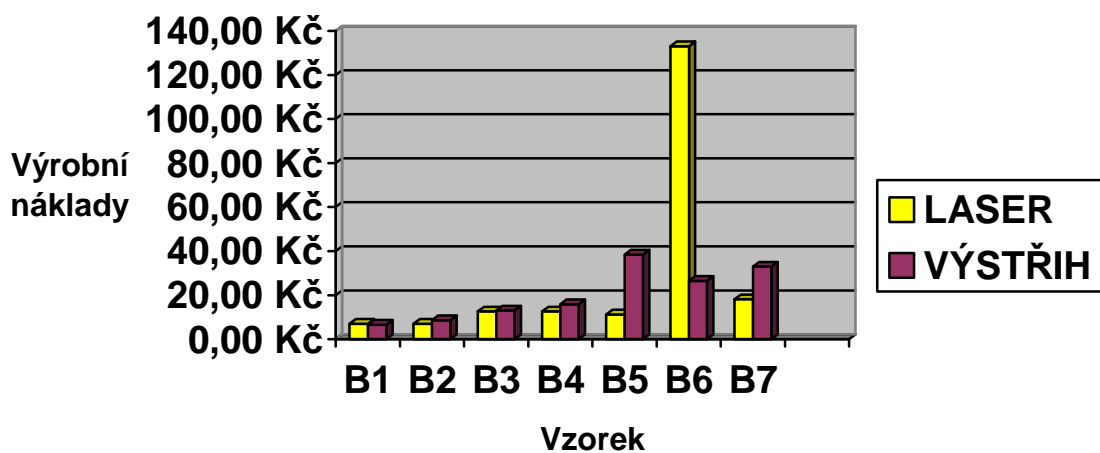
7 VYHODNOCENÍ NAMĚŘENÝCH DAT

Zhodnocení výrobních nákladů laserem a vysekávacím strojem

Tabulka 33. Zhodnocení výroby pro 1ks.

Název vzorku	Laser – čas [s]	Laser – cena [Kč]	Výstřih. – čas [s]	Výstřih. – cena [Kč]
B1	10	7	13	6.5
B2	10	7	17	8.5
B3	18	12.6	39	13
B4	18	12.6	32	16
B5	16	11.2	77	38.5
B6	190	133	53	26.5
B7	26	18.2	66	33

Výroba vzorku v počtu 1ks

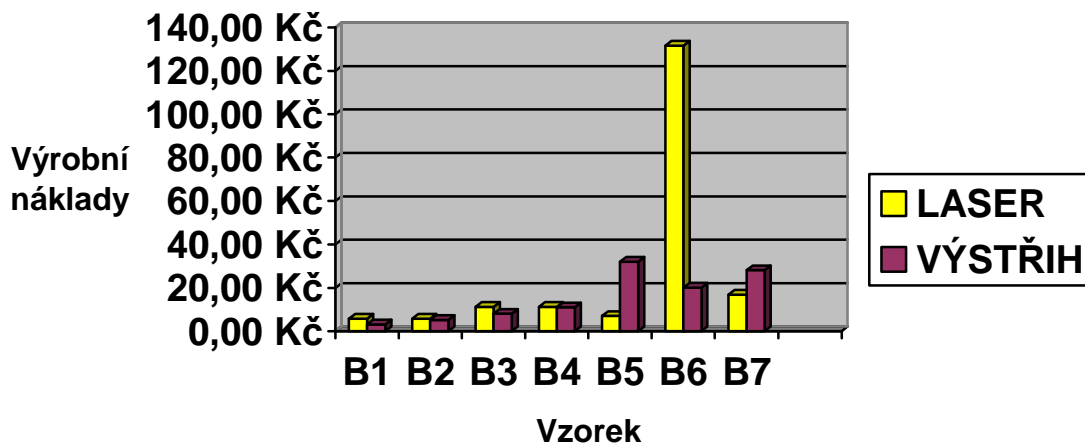


Obr. 23. Graf pro 1ks.

Tabulka 34. Zhodnocení výroby pro 112 ks.

Název vzorku	Laser – čas [s]	Laser – cena [Kč]	Výstřih – čas [s]	Výstřih. – cena [Kč]
B1	8.1	5.7	6.2	3.1
B2	8.1	5.7	10.3	5.1
B3	16.1	11.3	16.2	8.1
B4	16.1	11.3	22.3	11.1
B5	14.1	7.1	64.3	32.2
B6	188	131.6	40.4	20.2
B7	24.1	16.9	56.4	28.2

Výroba vzorku v počtu 112ks



Obr. 24. Graf pro 112ks.

ZÁVĚR

Ze získaných dat vyplývá, že výrobní náklady se liší podle technologie, kterou jsou vyráběny a podle toho zda se jedná o výrobu jednoho či série 112 kusů. Ideálně to lze demonstrovat na vzorku B3, kde je použití laseru výhodnější pro kusovou výrobu avšak v případě série kterou zde reprezentuje zmiňovaný počet 112 ks, je výhodnější použití CNC vystřihovacího lisu. Do stejné kategorie pak patří vzorky B2, B3, B4, byť není zde rozdíl tak výrazný.

Jsou však díly, kdy je použití laseru výhodnější v případě kusové i sériové výroby. Jedná se o vzorek B5 a B7. Podobně lze uvažovat i v případě vystřihovacího stroje, kdy je výhodné použít tuto technologii pro výrobu vzorků B1, B6 a to jak v kusové výrobě, tak sériové výrobě.

Ve zkoumaném výběru se nenašel díl, který by bylo výhodnější vyrobit v kusové výrobě technologií vystřihování a v případě série laserem.

Při dobře zvolené technologii výroby dochází ke značným úsporám, které jsou nejlépe patrné u velkých sérií. V níže přiložené tabulce jsou příklady extrémních rozdílů v použití jednotlivých způsobů výroby.

Tabulka 35. Zhodnocení výroby pro 10 000 ks vybraných vzorků.

Název vzorku	Laser – cena [Kč]	Výstřih. – cena [Kč]	Rozdíl – cena [Kč]
B5	71 000	322 000 Kč	251 000
B6	1 316 000	202 000	1 014 000

Obecně lze říci, že výhodnost použití jednotlivých technologií je dána typem vnitřních a vnějších tvarových prvků.

V případě vystřihování, je produktivita použití postupného vystřihování, ať už se jedná o vnější nebo vnitřní rádiusový tvar diskutabilní, a lze ho doporučit jedině v případě, kdy se takových prvků nachází na vyráběném kusu co nejméně. Naopak, výroba děr tvaru a roz-

měru stejného jako je použitý střížník ve větším množství, je zase na laseru výrazně méně produktivní než na CNC vystřihovacím lisu.

Z výsledků této práce vyplývá úměra: „ Čím více děr a vnějších tvarů velikosti a tvaru potenciálně použitelného standardního střížníku, tím je použití CNC vystřihovacího stroje výhodnější.“ V případech tvarových otvorů příliš odlišných od použitelného střížníku je výhodnější použít laser.

Když se na dílci objevují ostré rohy klesá produktivita laseru a navíc je materiál v těchto rozích tepelně degradován. Problém produktivity i tepelné degradace materiálu lze řešit změnou tvaru dílce, kdy je vhodné ostrý roh opatřit rádiusem a nebo použít vystřihovací stroj, který je v případech lineárně uspořádaných obrysů jak produktivnější, tak zde nehrozí negativních materiálových změn.

Pokud tedy má výrobní provoz k dispozici vystřihovací lis i laser, může se správně zvolenou technologií ušetřit nebo naopak zdražit vyráběný dílec. Jestliže vhodná technologie chybí, je lépe díl vyrábět v kooperaci a nebo pokud je poměr pořizovací ceny stroje a potenciálně ušetřených financí příznivý, tak si příslušnou technologii pořídit. Takový případ nastal v případě zkoumaného dílu B6, kdy lze za uvažovanou ušetřenou cenu v případě výroby 10 000 kusů /ročně pořídit vysekávací stroj, jehož návratnost by byla maximálně do tří let.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1]. ING. NOVOTNÝ, Josef, LANGER, Zdeněk. Stříhání a další způsoby dělení kovových materiálů. 1. vyd. [s.l.] : [s.n.], 1980. 216 s.
- [2]. AMADA CO, LTD, Kanagawa 259, Japan, Technical manual for machines, 2007
- [3]. TATÍČEK, František, ING. PILVOUSEK, Tomáš. MM Průmyslové Spektrum 2010/6 17. května 2010
- [4]. Dietze Systéme s.r.o. , Rochlov 121, Nýřany, Systémový katalog, 2006
- [5] MAŇKOVÁ, I, Progresivné technologie, Vienala, Košice, 2000
- [6] BOBČÍK, L., Střížné nástroje pro malosériovou výrobu. 1. vyd. Praha: SNTL, 1983. 216 s. 04-229-83
- [7] RUMÍŠEK, Pavel, Plošné a objemové tváření (vícejazyčné názvosloví). Brno, 2004

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

F_s	N	Střížná síla
τ_s	MPa	Pevnost ve stříhu
R_m	MPa	Mez kluzu
σ_{Dd}	MPa	Dovolené napětí v tlaku

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1. Vznik Laseru	12
Obr. 2. Základní typy konstrukčního řešení	15
Obr. 3. Základní uspořádání hlavy u CO ₂ laserů [5]	18
Obr. 4. Schéma Laserového stroje	19
Obr. 5. Laserový stroj Amada	22
Obr. 6. Střížný proces	26
Obr. 7. Střížná síla	27
Obr. 8. Střížná vůle	28
Obr. 9. Vystřihovací stroj Amada Europe 255	29
Obr. 10. Vystřihovací nástroj	31
Obr. 11. Typy záslepek	36
Obr. 12. Rozmístění záslepek	37
Obr. 13. Laserový stroj Amada LC 1212	38
Obr. 14. Vystřihovací lis Europe 258	39
Obr. 15. Měřicí přístroj Casio HS 30	40
Obr. 16. Záslepky typu B1	41
Obr. 17. Záslepky typu B2	43
Obr. 18. Záslepky typu B3	45
Obr. 19. Záslepky typu B4	47
Obr. 20. Záslepky typu B5	50
Obr. 21. Záslepky typu B6	53
Obr. 22. Záslepky typu B7	56
Obr. 23. Graf pro 1 ks	59
Obr. 24. Graf pro 112 ks	60

SEZNAM TABULEK

Tab. 1. Vybrané typy Laserů	17
Tab. 2. Stříhací operace	24
Tab. 3. Střížné vůle vybraných materiálů	28
Tab. 4. Popis vystřihovacího lisu	30
Tab. 5. Rozbor technologie výroby vzorku B1 – laser	42
Tab. 6. Vyhodnocení výroby vzorku B1 – laser	42
Tab. 7. Rozbor technologie výroby vzorku B1 – stříhání	42
Tab. 8. Vyhodnocení výroby vzorku B1 – stříhání	43
Tab. 9. Rozbor technologie výroby vzorku B2 – laser	44
Tab. 10. Vyhodnocení výroby vzorku B2 – laser	44
Tab. 11. Rozbor technologie výroby vzorku B2 – stříhání	44
Tab. 12. Vyhodnocení výroby vzorku B2 – stříhání	45
Tab. 13. Rozbor technologie výroby vzorku B3 – laser	46
Tab. 14. Vyhodnocení výroby vzorku B3 – laser	46
Tab. 15. Rozbor technologie výroby vzorku B3 – stříhání	46
Tab. 16. Vyhodnocení výroby vzorku B3 – stříhání	47
Tab. 17. Rozbor technologie výroby vzorku B4 – laser	48
Tab. 18. Vyhodnocení výroby vzorku B4 – laser	48
Tab. 19. Rozbor technologie výroby vzorku B4 – stříhání	49
Tab. 20. Vyhodnocení výroby vzorku B4 – stříhání	49
Tab. 21. Rozbor technologie výroby vzorku B5 – laser	51
Tab. 22. Vyhodnocení výroby vzorku B5 – laser	51
Tab. 23. Rozbor technologie výroby vzorku B5 – stříhání	52
Tab. 24. Vyhodnocení výroby vzorku B5 – stříhání	52

Tab. 25. Rozbor technologie výroby vzorku B6 – laser	54
Tab. 26. Vyhodnocení výroby vzorku B6 – laser	54
Tab. 27. Rozbor technologie výroby vzorku B6 – stříhání	55
Tab. 28. Vyhodnocení výroby vzorku B6 – stříhání	55
Tab. 29. Rozbor technologie výroby vzorku B7 – laser	57
Tab. 30. Vyhodnocení výroby vzorku B7 – laser	57
Tab. 31. Rozbor technologie výroby vzorku B7 – stříhání	58
Tab. 32. Vyhodnocení výroby vzorku B7 – stříhání	58
Tab. 33. Zhodnocení výroby pro 1ks	59
Tab. 34. Zhodnocení výroby pro 112 ks	60
Tab. 35. Zhodnocení výroby pro 10 000 ks vybraných vzorků	61

SEZNAM PŘÍLOH

PŘÍLOHA P I: NÁZEV PŘÍLOHY